

# Disseny i alternatives del sistema propulsiu d'un Ro - pax

Nom: Gabriel Carrasco Pagán

Tutor: Ramon Grau Mur

Titulació: Diplomatura en Màquines Navals

Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Curs: 2013 – 2014

## Índex

1. Introducció.....	4
2. Perfil operatiu i requisits .....	7
3. Estimació de la Potència.....	12
3.1 Elaboració del model.....	12
3.2 Predicció de la potència necessària .....	14
4. Balanç elèctric i sistemes propulsius.....	16
4.1 Descripció del sistema elèctric.....	16
4.2 Hidrodinàmica, obtenció dels sistemes propulsius i rendiments .....	19
4.3 Desenvolupament del sistema propulsiu convencional.....	20
4.3.1 Estimació inicial del motor i el par .....	20
4.3.2 Càlcul de la hèlice .....	21
4.3.3 Selecció del motor propulsor i la reductora.....	24
4.3.3 Selecció dels motors auxiliars .....	25
4.3.4 Càlcul dels tancs .....	26
4.4 Desenvolupament del sistema propulsiu elèctric.....	28
4.4.1 Estimació inicial del motor, el par i la hèlice.....	28
4.4.2 Selecció dels motors Dièsel – generadors.....	33
4.4.3 Càlcul dels tancs .....	35
5. Desenvolupant la càmera de màquines .....	37
5.1 La càmera de màquines del sistema convencional .....	40
5.1.1 Ubicació de la línia d'eixos i la maquinària principal .....	40
5.1.2 Introducció dels tancs a la càmera de màquines .....	43
5.1.3 Delimitació del espai de màquines.....	45
5.1.4 Introducció dels elements restants i reserva d'espais.....	47
5.1.5 Balanç de pesos dels equips introduïts.....	49
5.2 La càmera de màquines del sistema elèctric .....	50
5.2.1 Ubicació de la línia d'eixos i la maquinària principal .....	50
5.2.2 Introducció dels tancs a la càmera de màquines .....	54
5.2.3 Delimitació del espai de màquines.....	56
5.2.4 Introducció dels elements restants i reserva d'espais.....	58
5.2.5 Balanç de pesos dels equips introduïts.....	61

6. Conclusions .....	62
6.1. Sistema propulsiu: .....	62
6.2. Tancs de consumibles i aire: .....	62
6.3. Pes dels equips: .....	63
7. Agraïments.....	64
8. Índex de figures.....	65
9. Índex de Taules .....	67
10. Bibliografia.....	68
11. Annexos .....	69
Annex 1 .....	69
11.1.1 Balanç Elèctric .....	69
11.1.2 Balanç Pesos Sistema Convencional .....	73
11.1.3. Balanç Pesos Sistema Elèctric .....	74
Annex 2 .....	75
11.2.1 Informació general dels motors .....	75
11.2.2 Captures de pantalla finals.....	77

# 1. Introducció

---

Actualment la major part de la flota de vaixells mercants convencionals que es dediquen al transport de persones i mercaderies tenen una propulsió del tipus tradicional. Aquesta propulsió està basada normalment en dos o més motors dièsel semiràpids, que mouen una o dues hèlices mitjançant una reductora i una sèrie de motors auxiliars que es dediquen a generar l'electricitat que alimenta els consumidors de bord, incloent els motors transversals que augmenten la maniobrabilitat en port d'aquestes vaixells, que sol ser reduïda.

Tot i així la tendència en vaixells que requereixen gran mobilitat i maniobrabilitat és introduït gradualment l'aplicació de la propulsió elèctrica, com en el cas dels creuers de nova construcció. En el cas de la marina mercant aquesta propulsió està basada en la generació d'electricitat per part d'una sèrie de motors dièsel que s'encarreguen d'alimentar tant els motors elèctrics de propulsió com els consumidors del vaixell, gestionats per uns quadres de controls i distribuïdors. Aquesta propulsió es pot realitzar per exemple mitjançant motors elèctrics que mouen un eix (de forma similar al cas tradicional) o mitjançant uns sistemes Azipod, que eliminen la necessitat de timons i d'eixos tan llargs .

L'objectiu d'aquest treball és calcular la potència necessària de la planta instal·lada a la càmera de màquines per propulsar un vaixell del tipus ferri i alimentar els seus serveis, comparant els dos tipus de distribució energètica mencionats. Es realitzarà el càlcul de la resistència mitjançant la modelització d'un casc en Maxsurf i la utilització d'una sèrie sistemàtica, simulant les condicions d'una ruta típica d'un vaixell d'aquestes característiques pel mar Mediterrani.

Una vegada calculats els requisits de la planta elèctrica es compararan ambdues possibilitats en l'apartat dels consums de combustibles i del sistema elèctric, una aproximació del pes dels equips i es proposarà una distribució de l'espai disponible que ocuparien en la càmera de màquines en les dos variants, per determinar les possibilitats d'una planta elèctrica en un vaixell d'aquestes característiques partint d'un entorn amb la major part dels elements comuns possibles per intentar equiparar ambdues situacions. Finalment en l'últim apartat es podran consultar les conclusions obtingudes durant el desenvolupament del treball i els Annexes considerats oportuns aportar per comprendre i justificar els criteris utilitzats.

Aquí es presenten uns exemples de ferris tipus de diferents navilieres, on es veuen els portalons de càrrega dels vehicles i la zona superior destinada als passatgers:



Figura 1: Portalons d'entrada per popa del Sorolla (Font: [www.trasmeships.es](http://www.trasmeships.es))



Figura 2: Escotilla de càrrega i accés abatible (Font: [www.trasmeships.es](http://www.trasmeships.es))





Figura 3: Escotilles d'accés lateral de la càrrega (Font: [www.mundoexportar.com](http://www.mundoexportar.com))



Figura 4: Entrada de la càrrega rodada per proa (Font: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

## 2. Perfil operatiu i requisits

---

El ferri es un tipus de vaixell que s'encarrega de transportar tant passatge com càrrega rodada generalment en una línia regular, amb un horari i un noli que depenen del destí, el tipus d'estància o si el passatge inclou un turisme o un tràiler. Aquests vaixells realitzen una ruta circular relativament curta fent escala en uns ports predeterminats i on poden tenir accés a material de reparació i recursos amb bastanta facilitat.

Això implica que aquests vaixells no tindran un taller de reparacions ni un magatzem de recanvis massa extensos, ja que el seu manteniment estarà programat pel armador en funció de la temporada i de la disponibilitat de la seva flota o dels vaixells disponibles en el mercat Tramp. Per tant aquests vaixells tindran un manteniment preventiu (ja sigui predictiu o programat) per tenir una disponibilitat completa.

Per realitzar un primer dimensionament i formes d'un vaixell d'aquestes característiques se n'han buscat de similars que realitzin la seva ruta a Espanya, per modelitzar mitjançant Maxsurf i començar a desenvolupar el treball. La primera ruta trobada és la línia Huelva – Tenerife passant per Las Palmas de Gran Canaria, trajecte que suma uns 1.400 km i que equival a unes 756 milles nàutiques aproximadament. Com primera aproximació es dota al vaixell d'una autonomia per realitzar quatre vegades aquesta distància (dos viatges rodons), obtenint una autonomia total d'un 4.536 milles que li permetria fer dos viatges sense necessitat de repostatge amb un marge en condicions ideals del 33%.

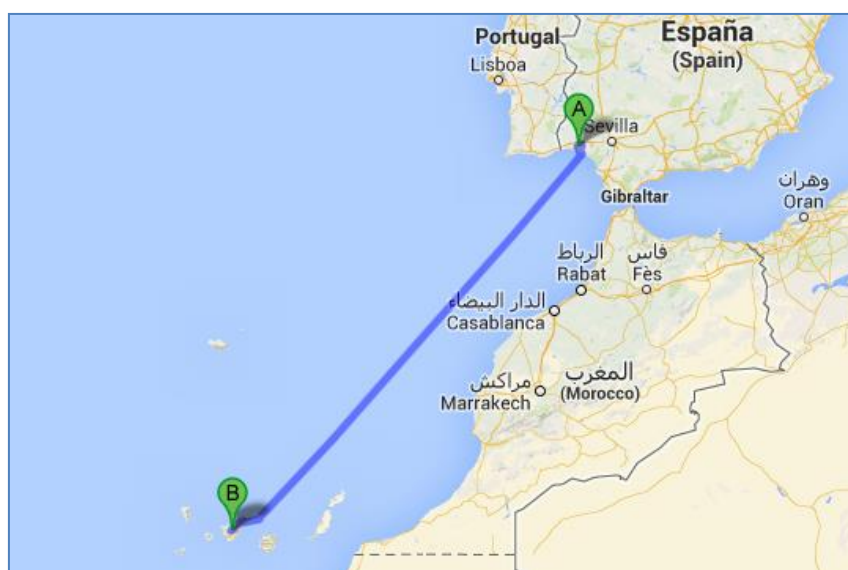


Figura 5: Ruta Huelva – Las Palmas – Tenerife (Font: [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com))

Amb això es garantitza que tot i el previsible augment dels consums com a conseqüència de les possibles desviacions de la ruta, l'efecte del mal temps sobre el vaixell o l'embrutament del casc (l'anomenat *sea margin*), el vaixell pugui realitzar la ruta a la velocitat de projecte sense problemes i amb un marge ampli.

A més això permet a l'armador modificar-ne la missió ja sigui per una demanda excepcional de noli en una altra ruta durant un període concret de l'any, per una baixa en la flota o per una reassignació definitiva de la zona de navegació, cosa que en resum fa més flexible al vaixell.

Un altre exemple de ruta possible que actualment es realitza a l'altra banda de la península es la línia Santander – Portsmouth, amb un trajecte equivalent a uns 1.052 km i que corresponen a unes 568 milles aproximadament. L'estimació anterior es igualment vàlida per aquesta ruta i molt vàlida en una ruta més curta com per exemple una línia Barcelona – Balears – València.

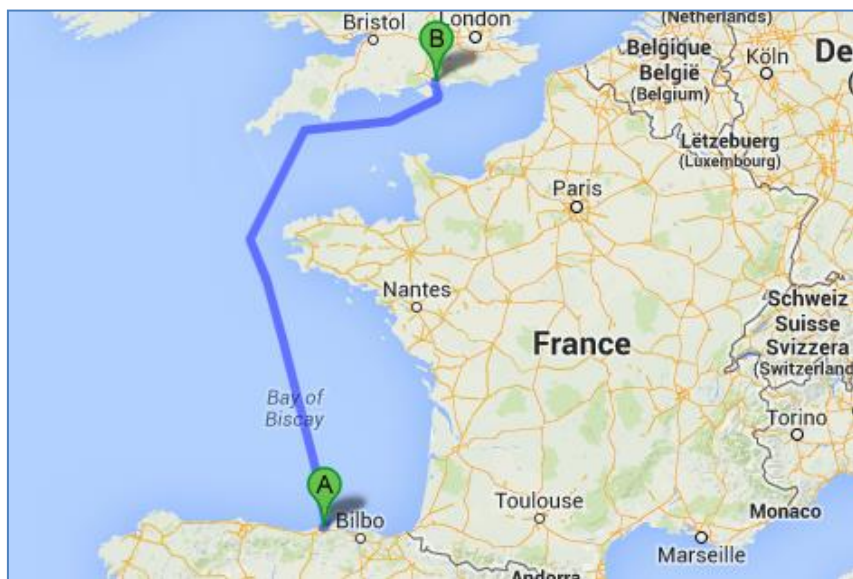


Figura 6: Ruta Santander – Portsmouth (Font: [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com))

Una vegada localitzades aquestes dues rutes es procedeix a buscar-ne dos vaixells de cada, per realitzar-ne un anàlisis dimensional i obtenir-ne uns valors que permetin realitzar el dimensionament del model sobre el que es treballarà. En el cas de la primera ruta s'han trobat els vaixells *Sorolla* i *Murillo* de la naviliera Acciona Trasmediterránea i en el cas de la segona ruta s'han obtingut els vaixells *Cap Finistère* i *Pont – Aven* de la naviliera Brittany Ferries.



Aquesta base de dades si bé és cert que no és lo suficientment extensa com per modelar un casc adequadament, s'ha optat per validar-la ja que el fet obtenir el casc i les seves dimensions és un medi per aconseguir l'objectiu del treball, que és el sistema propulsiu, pel que el casc en realitat perd importància si és similar als vaixells base. Per tant validat el mètode es busca informació dels vaixells escollits i se n'han obtingut els següents valors:

Vaixells	Eslora (m)	Velocitat (Kn)	Eslora epp (m)	Mànega (m)	Calat (m)	Desplaçament (T)	GT (T)	Cb
Sorolla	172,00	23,50	157,00	26,20	6,70	16.600,00	26.916,00	0,588
Murillo	180,00	21,80	168,70	25,00	6,60	16.950,00	25.028,00	0,594
Cap Finistère	204,00	22,00	-	25,00	6,40	19.130,39	32.728,00	0,572
Pont – Aven	185,00	23,00	-	31,00	6,80	20.816,13	41.700,00	0,521

**Taula 1: Característiques i dimensions generals dels quatre vaixells de les rutes previstes**  
(Fonts <http://www.brittanyferries.es> i <http://www.trasmediterranea.es/>)

Els valors de la taula anterior s'han obtingut de les pàgines oficials de les navilieres mencionades excepte en el cas dels vaixells *Cap Finistère* i *Pont – Aven*, dels que tant el desplaçament com el Coeficient de Bloc s'han obtingut mitjançant estimacions, ja que només se n'han trobat el GT (Gross Tonnage). El GT no és una unitat vàlida per visualitzar el desplaçament ja que és una unitat d'arqueig i en el cas d'un vaixell amb el puntal i les formes d'un ferri no és possible aproximar-ne el desplaçament d'una forma relativament directa.

A més s'han actualitzat les velocitats de servei que presentava la naviliera a la seva pàgina web mitjançant [www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com) durant el mes de Març de 2014 en tres viatges consecutius, on s'ha comprovat com aquestes eren notablement inferiors (es donaven 28 i 27 nusos respectivament). Per obtenir el Cb i el desplaçament s'han utilitzat les següents fórmules, on les unitats van en metres i la velocitat en nusos:

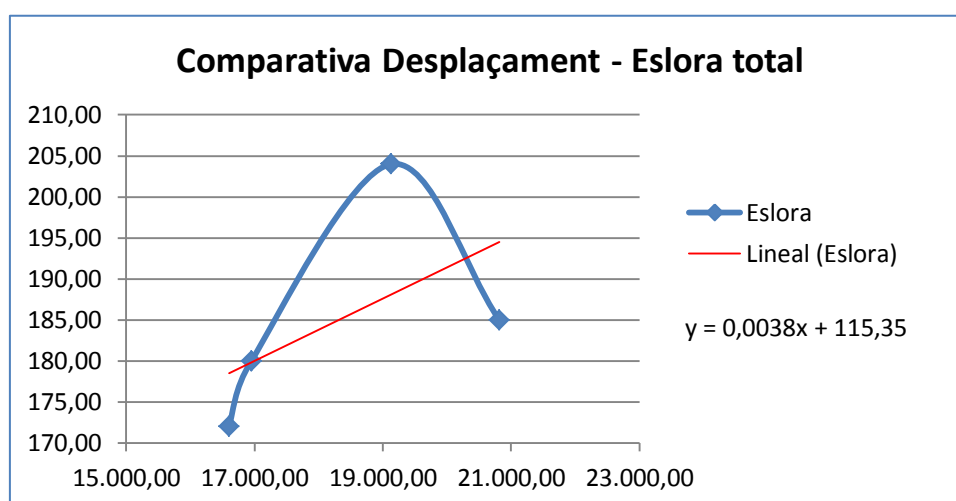
$$Cb = 0,97 \cdot 0,8217 \cdot Lpp^{0,420} \cdot B^{-0,3072} \cdot T^{0,1721} \cdot V^{-0,6135}$$

$$Desplaçament = 1,025 \cdot Cb \cdot Lpp \cdot B \cdot T$$

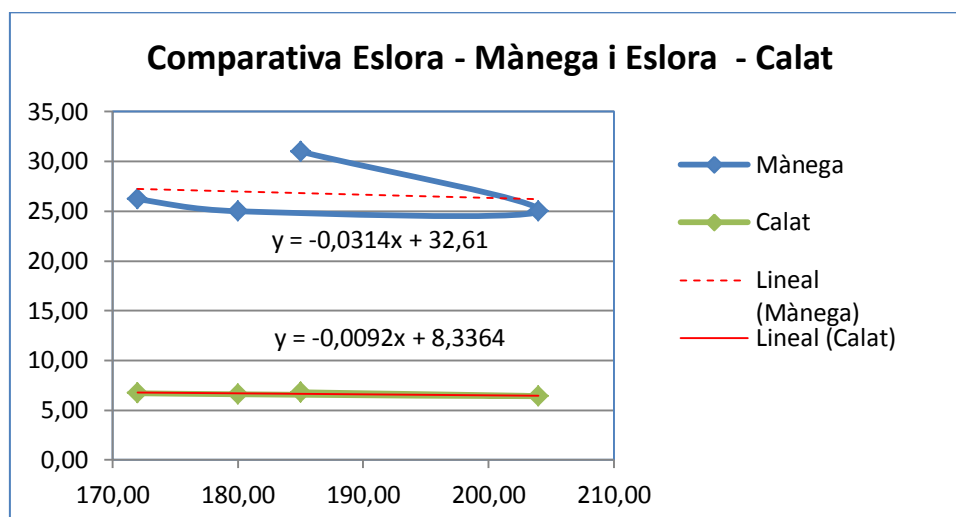
**Figura 7: Fórmules utilitzades (Font: Proyecto Básico del Buque Mercante)**

Aquestes fórmules s'han obtingut del llibre "Proyecto Básico del Buque Mercante", sent la primera fórmula l'aproximació de Katsoulis pel Cb i la segona és genèrica per obtenir del desplaçament en tones amb una densitat estàndard de 1,025 T/m<sup>3</sup>.

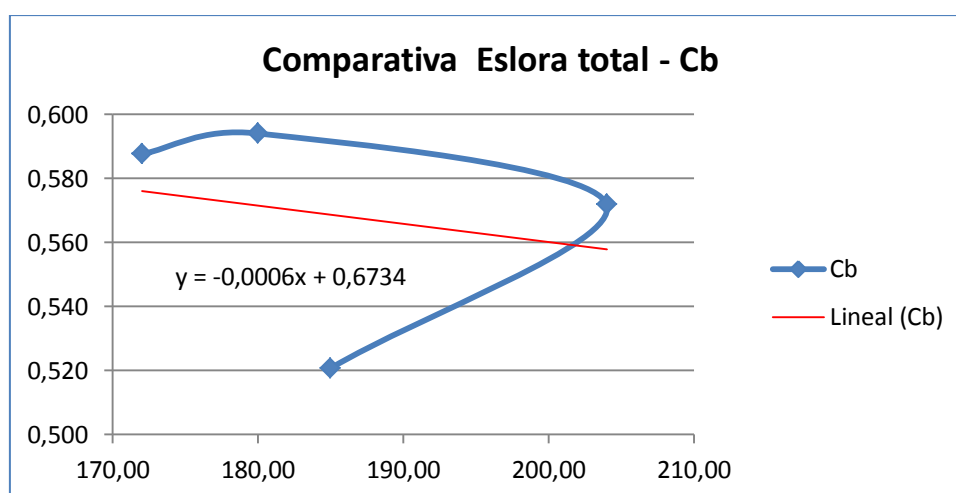
De la taula anterior se n'obtenen les gràfiques i fórmules de regressions següents:



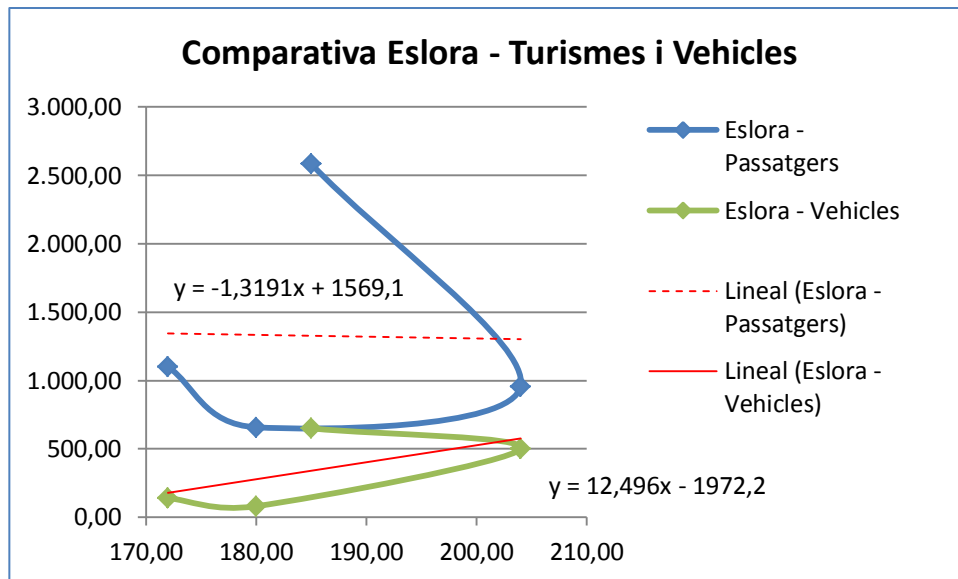
**Figura 8: Comparativa Eslora total – Desplaçament**



**Figura 9: Comparativa de Eslora total amb la Mònega i el Calat**



**Figura 10: Comparativa Eslora total – Cb**



**Figura 11: Comparativa de la Eslora total amb el número de turismes i vehicles**

Amb les fórmules obtingudes es poden obtenir les dimensions del vaixell a partir de les regressions realitzades i realitzar un primer dimensionament del casc. Dintre dels vaixells analitzats s'ha decidit partir d'un casc de 180 m i es suposarà una velocitat de servei de 23 nusos. S'han agafat aquests dos valors ja que són similars als dels vaixells de Trasmediterrànea, cosa que permetrà comprovar si els resultats que es van obtenint són raonables.

A més aquests dos vaixells podran fer de base i se'n podrà extreure informació sobre la que es puguin fer estimacions una vegada el projecte estigui més avançat, com es veurà més endavant. A més també es partirà de la base de que el vaixell tindrà dos hèlices per propulsió i probablement una o dues transversals de maniobra, com sol ser en aquests vaixells.

Utilitzant les fórmules obtingudes en les gràfiques anteriors, amb una eslora de 180 m s'han obtingut els següents resultats teòrics:

Eslora (m)	Desplaçament (T)	Mànega (m)	Calat (m)	Cb	Passatgers	Vehicles
<b>180</b>	17.010	27,0	6,7	0,565	1332	277

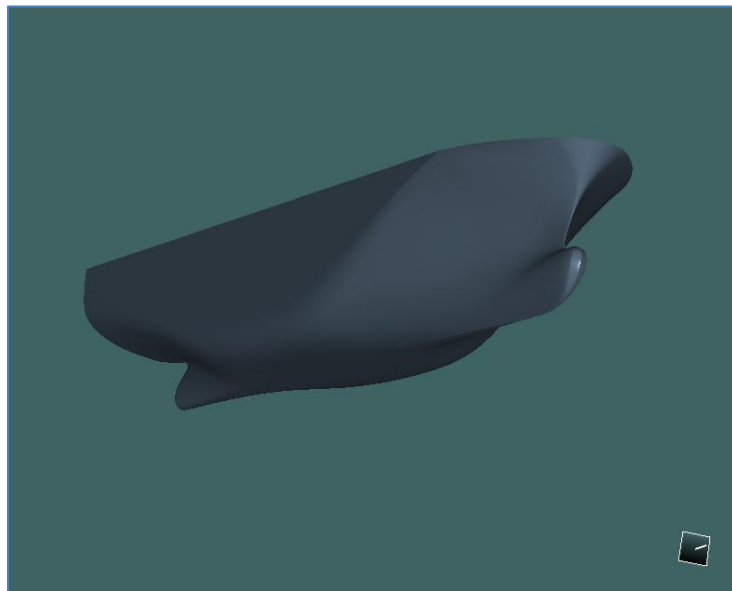
**Taula 2: Resultats obtinguts mitjançant les línies de tendència**

Obtingudes aquestes dimensions ja es pot realitzar el model mitjançant Maxsurf i començar a desenvolupar el projecte. El número de passatgers i dels vehicles és una estimació amb base a la resta de vaixells de les flotes avaluades, tot i que és un valor subjectiu que s'hauria de justificar si es fes la disposició general, que no es contempla en aquest projecte.

## 3. Estimació de la Potència

### 3.1 Elaboració del model

Per estimar la potència necessària per propulsar el vaixell a la velocitat de projecte s'utilitzarà la sèrie sistemàtica Holtrop & Mennen. Per aplicar-la s'adaptarà un dels models disponibles a la llibreria de Maxsurf i es modificarà amb els valors obtinguts en les regressions de l'apartat anterior. Una vegada adaptat el model s'importarà al programa Hullspeed i allí s'obtindrà la resistència al avanç a la velocitat de projecte mitjançant l'aplicació de la sèrie. Les característiques principals del model base són les següents:

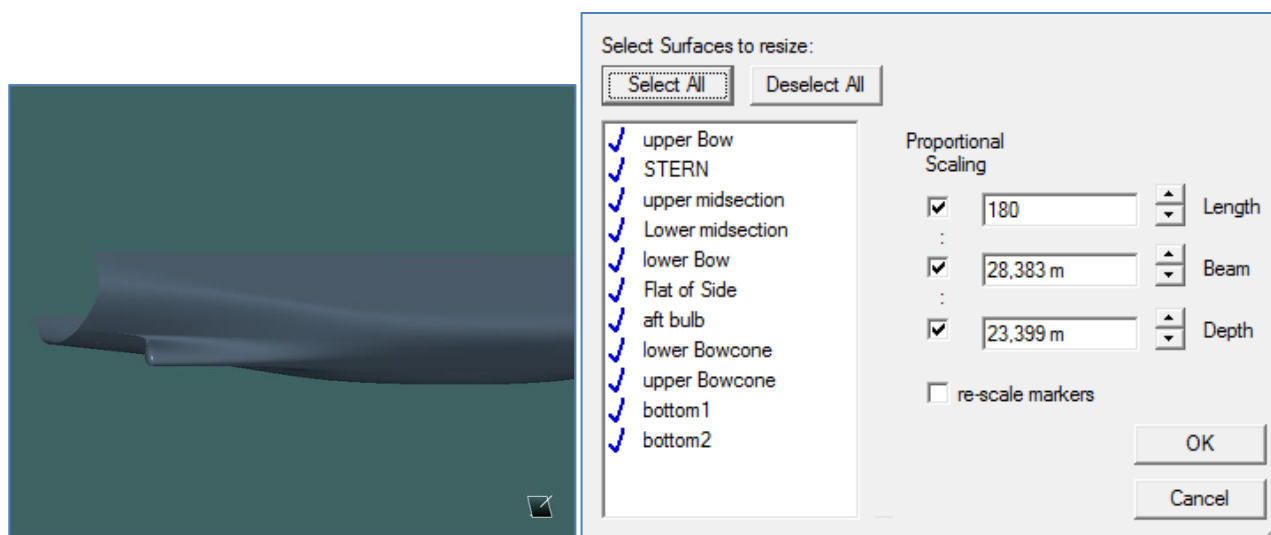


**Figura 12: Perspectiva del model base utilitzat en Maxsurf**

Eslora (m)	Desplaçament (T)	Mànega (m)	Calat (m)	Cp	Cb
204,252 m	36.803,6	32,21	10,67	0,579	0,542

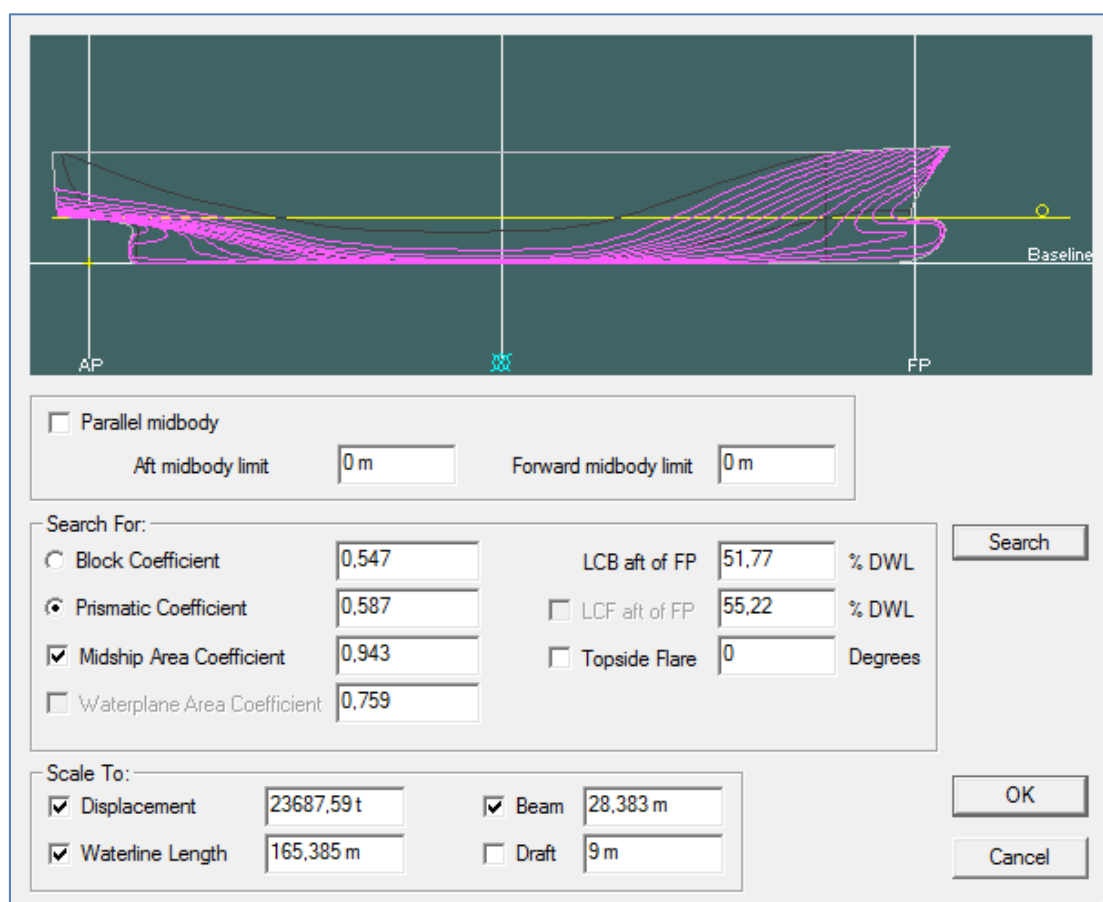
**Taula 3: Característiques del model base**

El primer pas és adaptar lleugerament la popa per adaptar-la als dos eixos mitjançant una petita modificació de les formes. Després es procedeix a escalar tot el vaixell dels 204,252 metres originals als 180 metres d'eslora proposats per al projecte.



**Figura 13: A l'esquerra vista de la preparació de la popa i la dreta la finestra d'escala**

Una vegada escalat el vaixell en eslora, es modificarà el volum submergit mitjançant l'eina de transformació paramètrica que incorpora Maxsurf. Es fixaran el  $C_b$ , el desplaçament, la línia de flotació i la mànega obtingudes en l'apartat anterior, deixant el calat lliure:



**Figura 14: Finestra de definició de la parametrització**



Una vegada realitzada la transformació paramètrica es comproven els resultats obtinguts i es verifica que coincideixen amb els del model inicial i els valors objectiu:

Vaixell	Eslora (m)	Desplaçament (T)	Mànega (m)	Calat (m)	Cp	Cb
<b>Objectiu</b>	180,00	17.010,0	27,0	6,70	-	0,565
<b>Model Base</b>	204,25 m	36.803,6	32,2	10,67	0,579	0,542
<b>Obtingut</b>	<b>180,00</b>	<b>17.010,2</b>	<b>27,0</b>	<b>6,63</b>	<b>0,601</b>	<b>0,561</b>

**Taula 4: Comparació de les dimensions**

Com es pot comprovar els valors objectiu i els obtinguts són bastant similars, i per tant es considera que el model és vàlid i es pot seguir amb el desenvolupament del projecte.

### 3.2 Predicció de la potència necessària

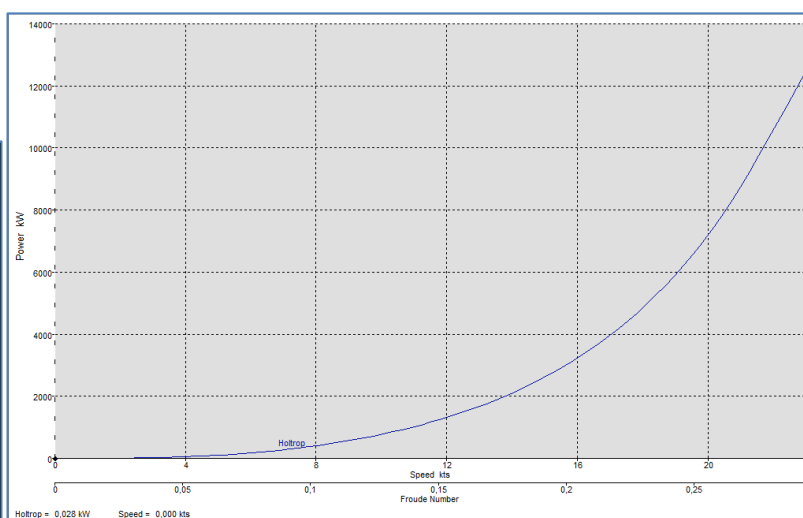
Amb el model validat es comprova que compleix amb rang d'aplicació de la sèrie sistemàtica de Holtrop & Mennen:

	<b>Fn</b>	<b>Cp</b>	<b>L/B</b>	<b>B/T</b>
<b>Límits de la sèrie</b>	0,35	0,55 - 0,67	5,3 - 8,0	3,2 - 4,0
<b>Model</b>	0,28	0,601	6,13	4,07

**Taula 5: Valors obtinguts i limitacions de Holtrop**

Tot i que el B/T no entra dintre del rang d'aplicació de la sèrie ja que té una desviació del 1,75% sobre el límit, es valida igualment l'ús d'aquest mètode ja que és un valor molt petit i els resultats seran bastant vàlids per una primera aproximació. Els valors obtinguts són:

	<b>Speed (kts)</b>	<b>Holtrop Resist. (kN)</b>	<b>Holtrop Power (kW)</b>
33	18,4	554,36	5247,41
34	18,975	601,56	5872,15
35	19,55	653,82	6575,73
36	20,125	711,93	7370,72
37	20,7	775,75	8260,98
38	21,275	843,98	9237,22
39	21,85	914,41	10278,49
40	22,425	984,74	11360,4
41	23	1053,57	12466,1



**Figura 15: Valors i corba de potència inicials corresponents a 23 nusos obtinguts amb Hullspeed**

Per tant la resistència i potència inicials obtinguts amb el model modificat i Holtrop són de 1.053,57 kN i 12.466,1 kW respectivament, per a una velocitat de servei de 23 nusos. Per aproximar la BHP és a dir la potència que tenen que subministrar els motors propulsors, s'utilitza la següent fórmula on  $\eta_P$  és el rendiment propulsiu i  $K_p$  el % règim nominal:

$$MCR = \frac{BHP}{K_p} = \frac{EHP}{\eta_P \cdot K_p}, \text{ on } \eta_P = 0,81 \text{ i } K_p = 0,85$$

$$\eta_P = 0,943 - 0,000187 \cdot n \cdot \sqrt{L_{pp}} \cdot 0,023 \cdot \frac{B}{T} - 0,2 \cdot C_b + 0,00013 \cdot n \cdot C_b \cdot \sqrt{L_{pp}}$$

**Figura 16: Relació entre EHP i BHP i fórmula (Font: Apunts assignatura Fon. Constr. Naval i Propulsors i <http://www.cehipar.es/> publicació 122)**

Per obtenir  $\eta_P$  es suposa que es gira a 200 revolucions per minut (revolucions fàcilment aplicables en el cas d'un motor semiràpid) i per tant s'obté que  $\eta_P = 0,81$ . La fórmula s'aplica a vaixells d'un sol eix i va ser publicada l'any 1984 pel Canal de Experiencias de El Pardo, i si s'analitza el resultat d'aquest rendiment en comparació amb projectes similars resulta s'obté ràpidament la conclusió de que el rendiment obtingut és massa elevat i no és fidedigne.

Per tant per realitzar una primera aproximació per obtenir les potències necessàries per propulsar el vaixell, en els càlculs s'utilitzarà un valor més estàndard de 0,50 i que està íntimament relacionat amb el rendiment de la hèlice. Amb aquest valor s'obté que per a què el vaixell pugui navegar a 23 nusos la potència estimada total dels motors propulsors és de 24.932,2 kW i per tant 12.466,1 kW per cada eix propulsor.

Si a més es suposa que el règim nominal de funcionament és del 85%, quan es col·loquin els motors propulsors es buscarà quina és la velocitat màxima realitzant el procés a la inversa quan funcionin al 100% i estiguin proporcionant 14.666 kW. Tots aquests càlculs es podran veure més endavant, una vegada s'hagi determinat els consums dels sistemes auxiliars i els consums elèctrics.

## 4. Balanç elèctric i sistemes propulsius

---

### 4.1 Descripció del sistema elèctric

Per realitzar el balanç elèctric de tots els equips instal·lats en el vaixell es tindran en compte cinc condicions de càrrega de la xarxa possibles: navegació de dia, navegació nocturna, maniobra, càrrega/descàrrega y repòs (és a dir la situació de mínim consum).

En el Annex I es pot comprovar la taula més detallada amb tots els consumidors que s'han tingut en compte a l'hora de desenvolupar el balanç i que es descriuran a continuació. La relació de consumidors amb els seus consums orientatius s'han basat en el balanç del projecte acadèmic "Estudio de la planta de generación de energía eléctrica de un buque Ro-Ro de 750 Pax", de Begoña Repeto Durán (Universitat de Cadis), on es tracta un ferri de característiques similars.

Davant la impossibilitat de calcular els consums reals al no disposar-ne d'informació fidedigna, s'han pres aquests consums com a vàlids i s'han adequat el número de consumidors, els coeficients i consums d'utilització i servei a les dimensions d'aquest projecte, obtenint un balanç aproximat com una primera aproximació als valors que podrien tenir un projecte real. Per tant el balanç elèctric inclourà els següents grans grups:

- Maniobra: format pels equips que s'encarreguen de la maniobra del vaixell incloent els molinets i els gires, les dues hèlices elèctriques transversals previstes i les bombes hidràuliques dels estabilitzadors i els servomotors encarregats dels timons. També s'hi inclouen els motors dels pescants dels bots de salvament.
- Cuines, salons, bugaderia: format pels equips de cuina i fonda, inclou elements com són la vitroceràmica o el rentaplats, els forns i calentaplats, electrodomèstics i diferents aparells de cuina i trituradores, calentadors elèctrics, els elements de bugaderia (com rentadores), les càmeres refrigerades i neveres i els dispositius electrònics d'oci disponibles a bord com projectors en les zones d'oci.
- Equips de navegació: format pels equips d'assistència a la navegació, els giroscopis, els equips de comunicacions internes, la ràdio i el RADAR.
- Ventilació i Aire Condicionat: format pels equips que formen part del servei d'aire comprimit i ventilació tant d'equips com de persones, i que són els compressors i els equips auxiliars d'Aire Comprimit, la ventilació de la CM i bodegues, el passatge i tripulació, la de la resta de la maquinària i altres serveis.

- Tallers, ascensors i portes: format pels equips que mouen ascensors i muntacàrregues, les portes estanques, els portalons de càrrega de vehicles, els equips del taller, els polispastos dels MMPP a més de les preses per als tràilers frigorífics i altres elements.
- Enllumenat: format pels equipis d'il·luminació i senyalització en espais públics, cuines, allotjaments i passadissos, garatges i bodegues, sala de màquines i pont, tallers i oficines, a més de l'enllumenat exterior, l'enllumenat d'emergència, les llums de navegació i la càrrega de bateries que alimenten aquests serveis en emergències.
- Equips Auxiliars de Màquines: format pels equips que assisteixen als motors principals i auxiliars i que són les bombes, purificadores i separadores d'oli i de combustible, bombes d'Aigua Salada, bombes d'Aigua Dolça, els compressors d'Aire o el Virador.
- Serveis no continus: format pels equips de la càmera de màquines que no funcionen contínuament com són la bomba d'aigües grises, la depuradora d'aigües negres, la bomba de llast i sentines, la bomba de buidatge i CI, les bombes de ruixadors de CI, el compressor d'emergència, la bomba de transvasament i la de servei diari de HFO.
- Serveis continus: format pels equips de la càmera de màquines que funcionen contínuament com són la bomba A/D sanitària i la del tanc de compensació, la bomba A/D sanitària calenta, la bomba aigua potable calenta, la bomba d'aigua potable freda i la bomba de servei de la piscina.

El balanç elèctric obtingut serà comú en ambdues possibilitats propulsives, i es pot consultar de forma més completa en l'Annex 1.

Consumidors	Potència total	Navegació	Maniobra	Carga / Descàrrega	Repòs	Navegació nocturna
<b>Maniobra</b>	2.702,50	465,20	1.982,84	0,00	0,00	465,2
<b>Cuines, salons, bugaderia</b>	1.759,00	1.566,05	1.399,15	1.337,45	1.137,45	1.343,65
<b>Equips de navegació</b>	18,50	9,35	11,20	7,60	1,00	8,15
<b>Ventilació i Aire Condicionat</b>	3.645,00	2.559,00	2.019,00	3.098,00	710,00	2.516,00
<b>Tallers, ascensors i portes</b>	1.349,80	1.056,50	1.052,00	1.068,26	26,50	1.003,50
<b>Enllumenat</b>	570,00	415,30	426,80	458,60	242,30	225,30
<b>Equips Auxiliars de Màquines</b>	524,00	238,93	209,60	43,40	43,40	242,40
<b>Serveis no continus</b>	417,20	89,05	73,82	135,72	22,65	89,050
<b>Serveis continus</b>	55,00	18,35	16,05	15,15	2,75	10,10
<b>Total</b>	11.041,00	6.417,73	7.190,46	6.224,38	2.386,05	5.903,35

**Taula 6: Resum del balanç elèctric del vaixell**

El balanç dels equips assignats com d'emergència es presenta en la taula següent, considerant equips d'emergència aquells necessaris per mantenir la seguretat i la protecció del vaixell i de les persones que es troben a bord, mitjançant l'alimentació d'uns equips durant un període concret i que venen determinats per la normativa de les societats de classificació:

Servei	Consumidor	Generador d'emergència (36 hores)		Grup de bateries (30 minuts)		
		Potència unitària (kW)	Kn · Ksr	Potència necessària	Kn · Ksr	Potència necessària
<b>Enllumenat d'emergència</b>	Bots i bales salvavides	15	1	15	1	15
	Vies d'evacuació	20	1	20	1	20
	Espais màquines	35	1	35	1	35
	Estacions de control	12	1	12	1	12
	Servomotor, arrencadors i bombes	18	1	18	1	18
<b>Llums de navegació</b>		1	1	1	1	1
<b>Radiocomunicacions</b>		6	1	6	0	0
<b>Comunicacions internes</b>		4	1	4	0	0
<b>Ajudes a la navegació</b>		3	1	3	1	3
<b>Sistemes contraincendis</b>		30	1	30	1	30
<b>Senyals d'emergència</b>		10	1	10	1	10
<b>Bombes CI i sentines</b>		74	1	74	0	0
<b>Total 36 hores (kW)</b>				228		144
				Durant 30 minuts		
<b>Servomotor</b>		23	1	23	0	0
<b>Portes estanques</b>		17	1	17	0,6	10,2
<b>Ascensors de passatge</b>		38	1	38	0	0
<b>Total primers 30 minuts (kW)</b>				306		154,2

**Taula 7: Balanç d'emergència**

Partint de la base de que el generador d'emergència és comú en ambdues possibilitats propulsives i ha d'estar ubicat per normativa fora de la càmera de màquines, s'ha escollit un model de la casa Volvo que compleixi amb els requisits de màxima potència requerida:

Volvo PENTA D13 (FE) MG / HMC534D-1 (50Hz)		Unitats
Potència generada pel motor (100%)	360	kW
Revolucions	1500	Rpm
Potència generada efectiva (100%)	332 (415 kVA)	kW
Consum al 100%	194	g/kW·h
Tanc de combustible (+11%)	1,77	m <sup>3</sup>

**Taula 8: Característiques del motor d'emergència (Font: <http://www.volvopenta.com>)**

Amb els balanços proposats ja es poden dimensionar els sistemes propulsius. El tanc està sobredimensionat degut a l'expansió del combustible, les canonades i l'estructura.



## 4.2 Hidrodinàmica, obtenció dels sistemes propulsius i rendiments

Una vegada obtinguda la resistència a l'avanç mitjançant la sèrie sistemàtica com s'ha vist en el punt anterior, ja es pot procedir a calcular la potència necessària a obtenir en cada motor, en base a la descomposició del rendiment propulsiu en els següents elements:

$$EHP = BHP \cdot \eta_P = BHP \cdot \eta_M \cdot \eta_{Rr} \cdot \eta_o \cdot \eta_H \rightarrow BHP = \frac{EHP}{\eta_M \cdot \eta_{Rr} \cdot \eta_o \cdot \eta_H}$$

Segons el canal d'Hamburg  $w = 0,7 \cdot C_p - 0,3 = 1,207$  i  $t = 0,5 \cdot C_p \cdot 0,18 = 0,1205$

$$Va = Velocitat \cdot (1 - w) = 10,4 \text{ nusos}; T = \frac{EHP}{2 \cdot (1 - t)} = 598,96 \text{ kN}$$

$$\eta_H = \frac{1 - t}{1 - w} = 1,00; \eta_M = 0,96 - 0,98; \eta_o \text{ i } \eta_{Rr} \text{ per determinar}$$

Figura 17: Descomposició i obtenció dels rendiments (Font Hamburg: <http://www.hsva.de/>)

On  $\eta_H$  és el rendiment,  $\eta_M$  el rendiment mecànic,  $\eta_{Rr}$  el rendiment rotatiu relatiu i  $\eta_o$  el rendiment de la hèlice, que es determinaran en cada sistema proposat. Inicialment es suposarà un  $\eta_P = 0,5$  per iniciar les iteracions en cada model. A continuació es mostren les distàncies escollides des de cossia per ubicar espacialment els eixos.

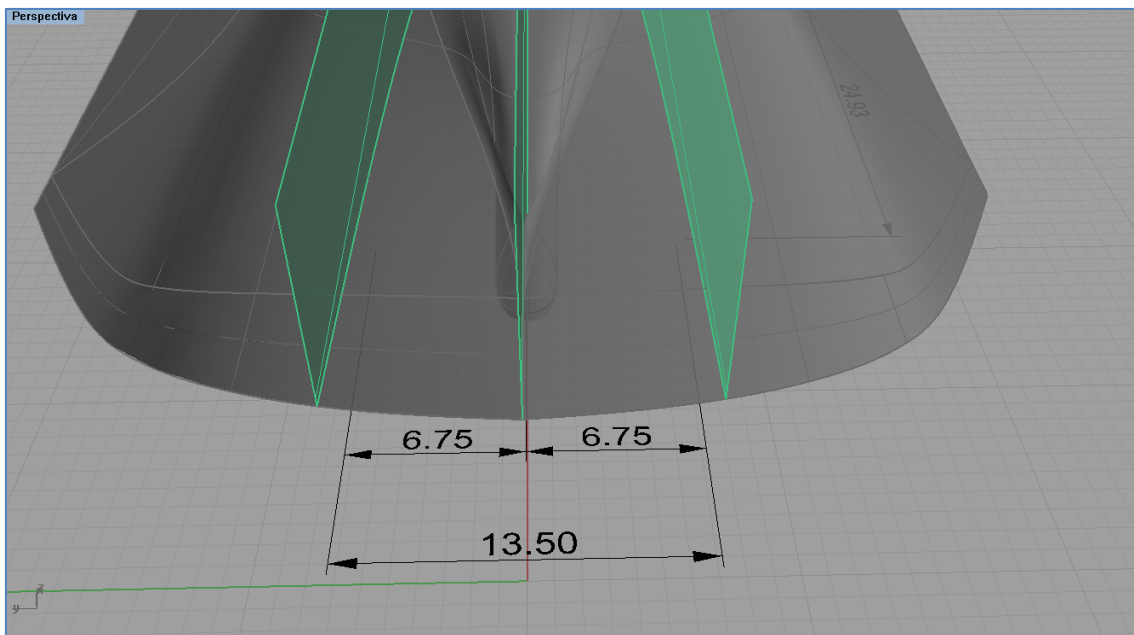


Figura 18: Distància entre eixos i respecte cossia

## 4.3 Desenvolupament del sistema propulsiu convencional

### 4.3.1 Estimació inicial del motor i el par

El sistema propulsiu convencional està format per uns motors dièsel principals que s'encarreguen de moure les hèlices mitjançant uns eixos i una reductora, generant l'electricitat necessària amb una sèrie de motors dièsel auxiliars. Suposant que el rendiment propulsiu és de 0,5 com s'ha proposat en el punt anterior, es determina que la potència necessària en cada eix és de 12.466,07 kW. Si es pretén que el motor treballi al 85% de la seva potència màxima com a potència nominal, els motors tindran que tenir una aproximada de 14.665,97 kW de potència màxima o de placa (MCR).

En el mercat s'han trobat diferents motors, tot i què es partirà d'un motor inicial per obtenir unes dades amb les que començar a realitzar iteracions per determinar els rendiments i una vegada s'hagin afinat aquests valors, llavors es buscarà quina és la millor possibilitat generadora de potència. El motor escollit és un Wärtsilä 12V46F, amb una potència 14.400 kW que s'utilitzarà tot i tenir una potència inferior a la obtinguda (266,07 kW menys) ja que la diferència és molt petita i s'espera que el rendiment propulsiu sigui lleugerament superior.

Aquest motor té la potència màxima potència (1200 kW/cilindre) a 600 rpm com es pot veure en la gràfica següent, mentre que al 85% genera 1020 kW/cilindre a 568 rpm:

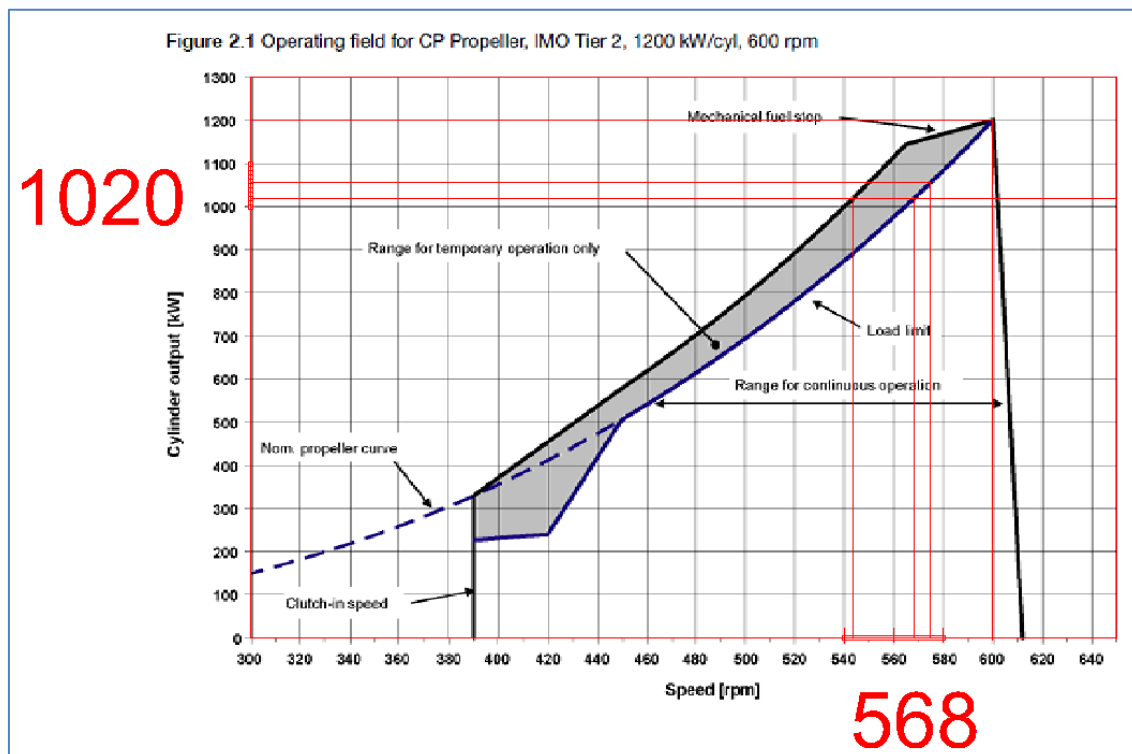
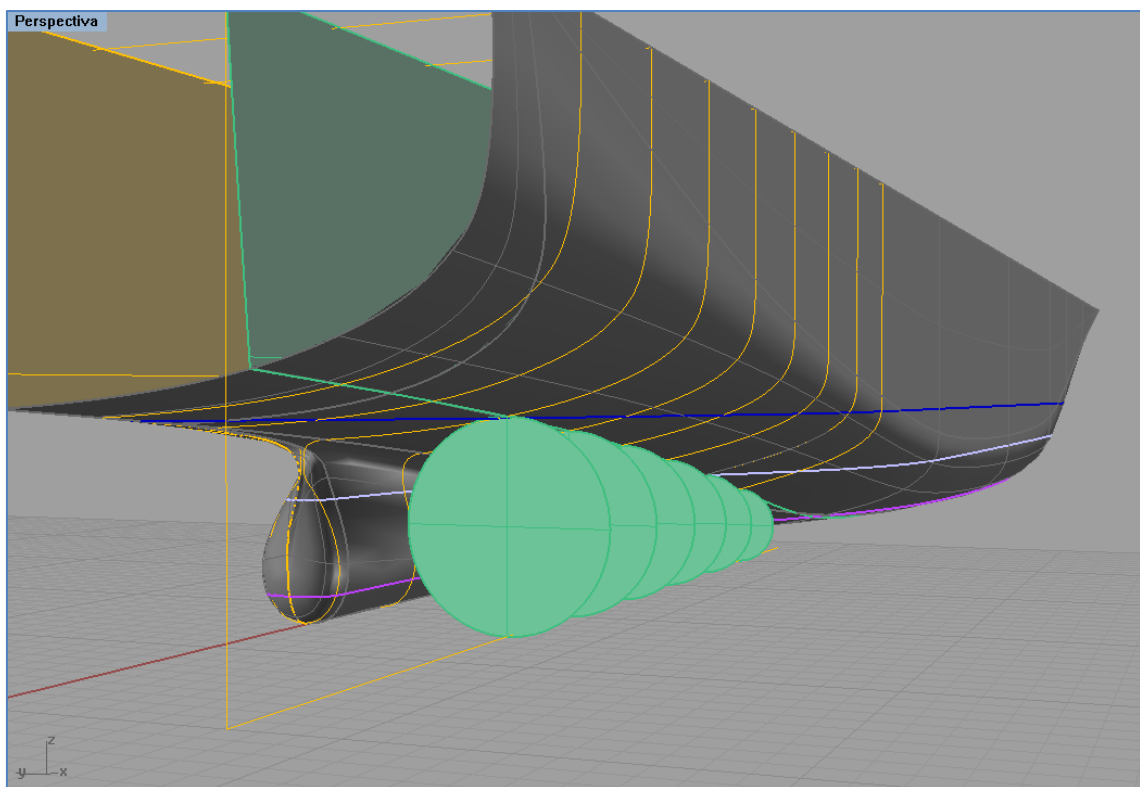


Figura 19: Corba de potència del motor escollit per un cilindre (Font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com))

Per tant si disposa de 12 cilindres està generant 12.240 kW en total, amb un par de 205,78 kN·m ja que  $\text{Potència} = \text{Par} \cdot \text{Velocitat angular (en radians/segon)}$ . Aquest par i revolucions són fonamentals per obtenir una primer aproximació de la hèlice que es calcularà posteriorment mitjançant l'ús de la reductora.

#### 4.3.2 Càlcul de la hèlice

El diàmetre de la hèlice escollida ha de respectar una distància mínima amb el casc per evitar interaccions amb el flux de l'aigua que rep i per evitar un excés de vibracions, que en aquest cas s'ha estimat del 21%.



**Figura 20: Diferents diàmetres d'hèlice proposats**

El primer diàmetre que compleix és de 5,3 m amb un marge amb el casc de 1,09 m. De vaixells similars s'ha fixat que disposi de 4 pales (Z). Per prevenir la cavitació s'ha utilitzat la fórmula de Keller que limita el  $A_e/A_o$  mínim, on la profunditat del nucli de l'eix a la superfície és de 4,01 m (i per tant  $P_o - P_v = 105.112,121 \text{ kg/m}^2$ ).

Si la velocitat de la hèlice estimada és de 200 revolucions per minut, segons la relació de reducció amb les dades disponibles el par de sortida és de 546,18 kN·m.

Amb totes aquestes dades ja es pot acudir a les taules Kt – J – Kq per buscar la hèlice. La hèlice utilitzada pertany a la sèrie sistemàtica B de Wageningen, amb un Ae/Ao major del determinat per Keller (0,15 < 0,30, on 0,30 és el Ae/Ao és el valor mínim disponible en les taules consultades) per evitar la cavitació. Les fórmules utilitzades per entrar en les corbes es poden trobar en la figura següent, on T = 598,96 kN (61.056,065 kg):

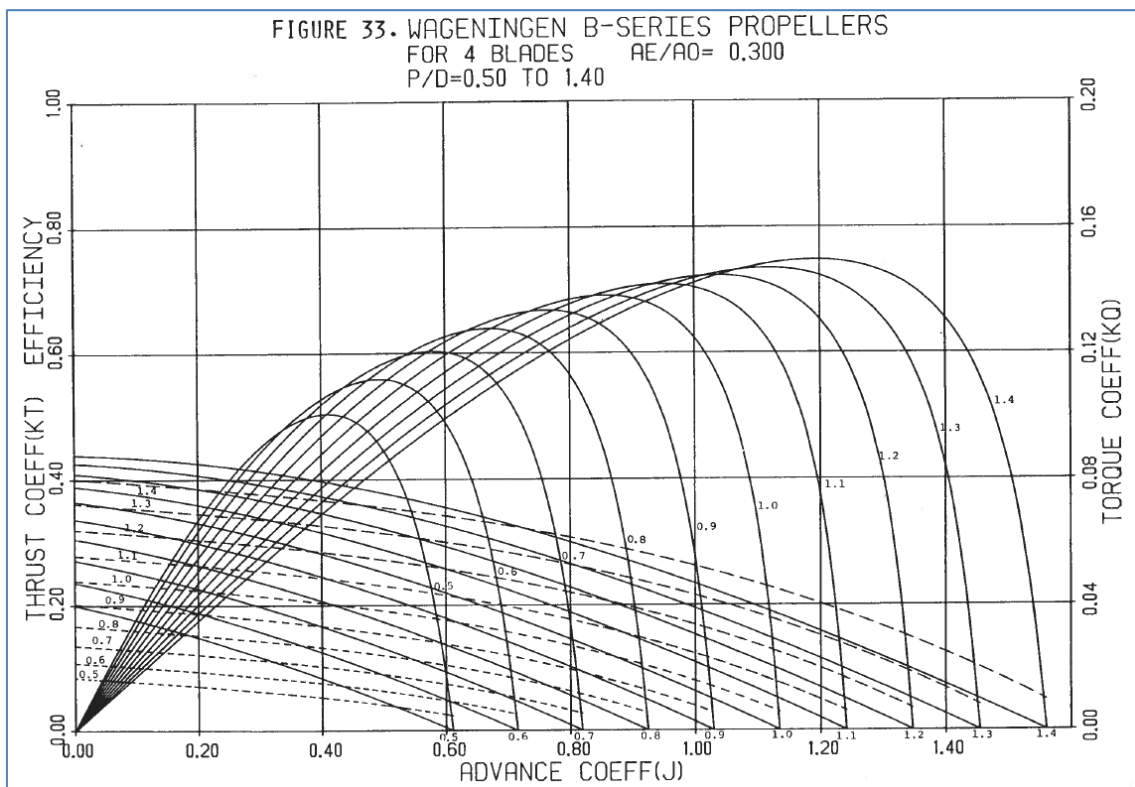
$$Qa \cdot wa = Qb \cdot wb \rightarrow 205,78 \cdot 568 = 200 \cdot Qb ; \text{ per tant } Qb = 546,18 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{Ae}{Ao} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot Z) \cdot T}{(Po - Pv) \cdot D^2} + K = 0,15 ; Kt = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} ; J = \frac{Va}{(D \cdot n)} ; Kq = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$$

$$\text{Holtrop } \eta Rr = 0,9737 + 0,111 \cdot (Cp + 0,0255 \cdot LCB) - 0,06325 \cdot \frac{H}{D}$$

**Figura 21: Fórmules utilitzades per entrar a les corbes Kt- Kq**  
(Font Keller i Holtrop: <http://ocw.mit.edu>)

En la imatge següent es pot apreciar les corbes Kt – J – Kq utilitzades:



**Figura 22: Corbes Kt – J – Kq, B4 – 30 (Font: Publication 237, University of Michigan)**

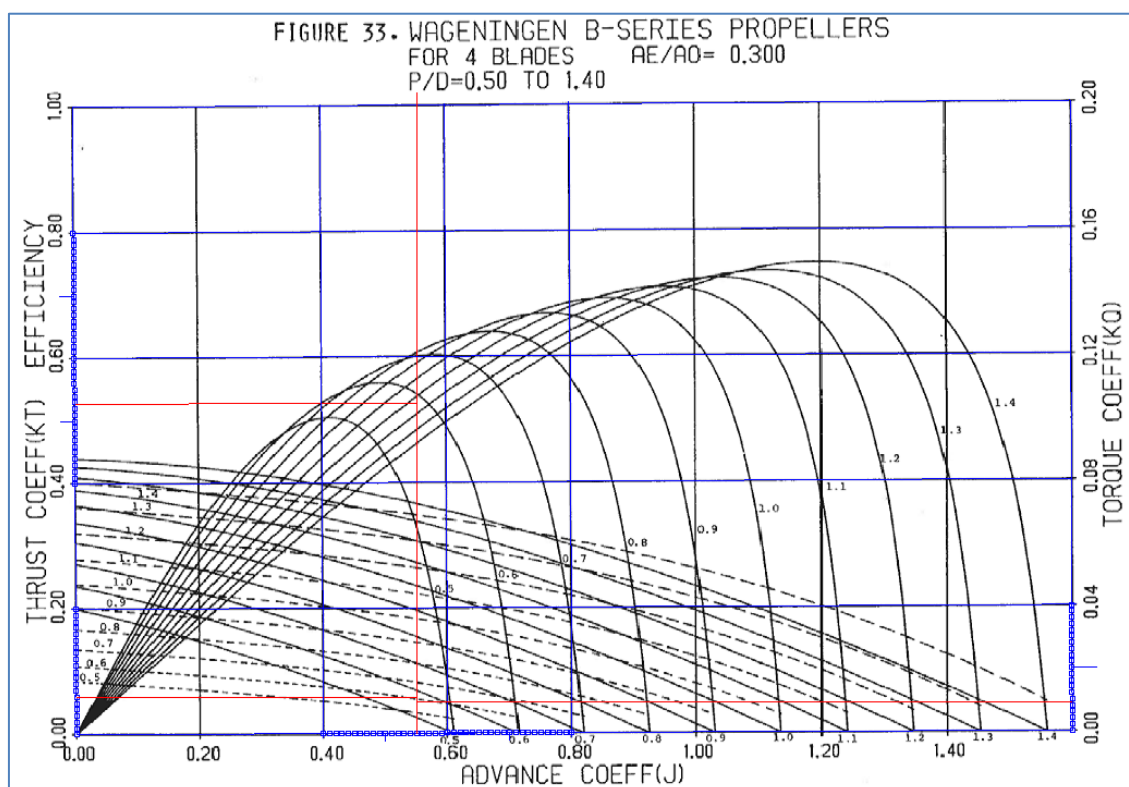
S'entrarà a les corbes amb el J i el Kt, ja que ni el requisit d'empenta ni el diàmetre es poden modificar, obtenint el pas/diàmetre de la hèlice (H/D) i traçant una recta amb l'escala de la dreta s'aconsegueix el corresponent el Kq.

Mitjançant la fórmula anterior del par (Q) s'ha d'obtenir un valor similar al obtingut amb la reductora, pel que es realitzaran iteracions per obtenir una hèlice que doni aquest par i es determina també el  $\eta_0$ . En la següent taula es poden veure les iteracions finals d'una sèrie de deu, obtenint els valors més aproximats per simplificar els resultats obtinguts:

Revolucions (rpm)	Kt	J	Kq	Diferència par (kN · m)
200	0,067	0,589	0,012	37
210	0,060	0,561	0,010	31
214	0,058	0,550	0,010	17

**Taula 9: Iteracions realitzades per obtenir el par similar al que surt de la reductora**

En la taula anterior es pot veure com la millor aproximació obtinguda dona una diferència de par amb al calculada a la reductora de 17 kN·m és a dir un 3,16%, que permet validar l'aproximació ja que és una diferència molt petita. En la següent imatge es poden veure les corbes utilitzades amb les línies corresponents a 214 rpm on el H/D és 0,65:



**Figura 23: Corba Kt - J - Kq amb els valors obtinguts a 214 rpm**



El  $\eta_0$  obtingut és 0,526 i amb el H/D es calcula el  $\eta_{Rr}$  com es veu en la Figura 21, i val 1,006. Pel que el rendiment propulsiu i la potència necessària amb aquesta hèlice són:

$$MCR = \frac{EHP}{\eta_P \cdot K_p} \rightarrow MCR = \frac{EHP}{\eta_M \cdot \eta_{Rr} \cdot \eta_0 \cdot \eta_H \cdot K_p}$$

$$= \frac{12.466,07}{0,96 \cdot 1,006 \cdot 0,526 \cdot 1,000 \cdot 0,85} = 28.871,99 \text{ kW, al } 85\% \simeq 24.541,19 \text{ kW}$$

**Figura 24: Potència obtinguda amb el rendiment propulsiu de 0,508**

Extrapolant la potència màxima a la corba de resistència s'obté una vel. màxima de 24,1 nusos.

#### 4.3.3 Selecció del motor propulsor i la reductora

Del punt anterior s'ha obtingut les potències necessàries per propulsar el vaixell tant al 85% del motor (a 568 rpm) com la velocitat màxima del propulsor (a 600 rpm):

#### Consum de combustible i règim

	Model	Potències requerides (kW)	Nº Motors	A 23 nusos	A 24,1 nusos
<b>Opció A</b>	Wärtsilä 12V46	Per eix:	2 x 12.600	4,17 T/h al 97%	5,07 T/h al 114%
<b>Opció B</b>	Wärtsilä 12V46F	A 23 kn són 12.270,6 kW	2 x 14.400	4,22 T/h al 85%	5,13 T/h al 100%
<b>Opció C</b>	Wärtsilä 9L38	A 24,1 kn són 14.436 kW	4 x 6.525	4,42 T/h al 94%	5,27 T/h al 110%

**Taula 10: Comparativa de possibles motors**

Dels tres motors proposats el que té un règim més adequat de funcionament i un consum raonable és la opció B, que correspon al motor utilitzat per realitzar les primeres iteracions. Del motor escollit se'n col·locaran dues unitats (una per eix) unides a dues reductores connectades als eixos que mouen les hèlices. Les característiques principals es presenten en la taula següent, i la resta estan disponibles en l'Annex 2:

Wärtsilä 12V46F, ME IMO Tier 2		Unitats
Potència generada per cilindre	1.200	kW
Revolucions	600	Rpm
Potència màxima	14.400	kW
Consum d'aire al 100% càrrega	25	kg/s
Consum combustible 85%	172	g/kW·h
Consum combustible 100%	178	g/kW·h

**Taula 11: Característiques dels motors principals (Font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com))**

En la següent imatge es presenta la gràfica de selecció de la reductora en funció de la potència, escollint el model horitzontal SH116 que permet treballar en el rang de sortida:

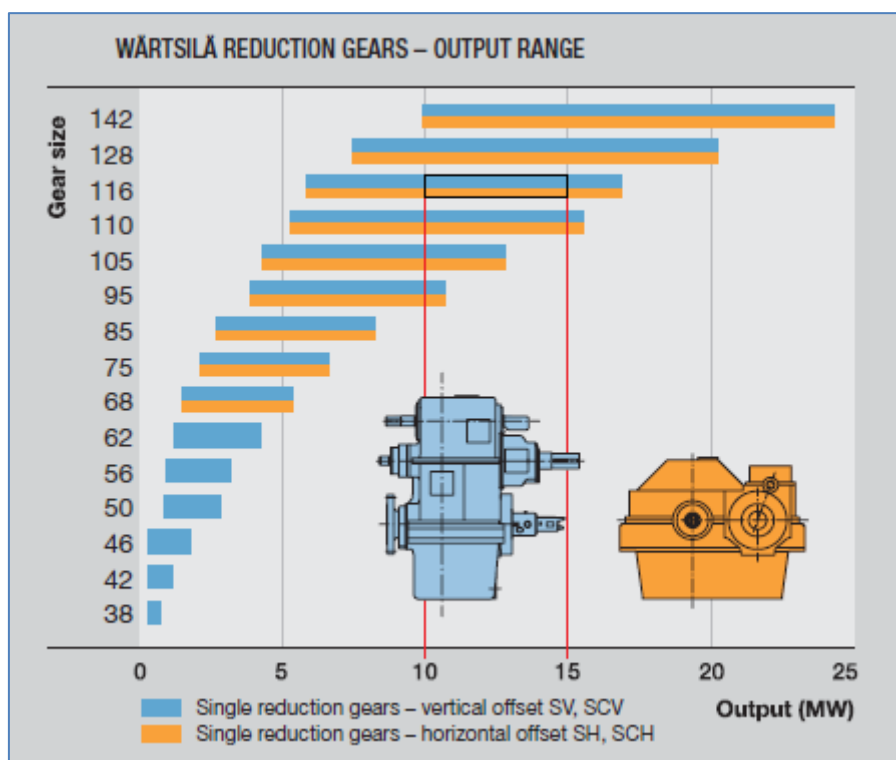


Figura 25: Selecció de la reductora Wartsilä (Font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com))

#### 4.3.3 Selecció dels motors auxiliars

Per realitzar la selecció dels motors auxiliars s'utilitzaran els valors previstos en el balanç elèctric en l'apartat 4.1 (taula 6).

	Model	Màx. potència requerida	Nº Motors	Consum de combustible i règim
<b>Opció A</b>	Wartsilä 16V32	7.190,6 kW	1 x 7.680 kW	1,31 T/h al 97%
<b>Opció B</b>	Wartsilä 12V26		2 x 3.900 kW	1,34 T/h al 96%

Taula 12: Comparativa dels motors auxiliars en les situacions de màxima càrrega

Situacions	Opcions	kW requerits	Motors	Règim %	Consums (T/h)
<b>Navegació</b>	A	6.417,73	1	87,01%	1,16
	B		2	85,25%	1,21
<b>Maniobra</b>	A	7.190,46	1	97,48%	1,31
	B		2	95,52%	1,34
<b>Càrrega / Descàrrega</b>	A	6.224,38	1	84,39%	1,12
	B		2	82,68%	1,15
<b>Repòs</b>	A	2.386,05	1	32,35%	0,46
	B		1	63,39%	0,47
<b>Navegació nocturna</b>	A	5.903,35	1	80,03%	1,07
	B		2	78,42%	1,12

Taula 13: Comparativa dels motors auxiliars en les diferents situacions

Les característiques principals es presenten en la taula següent, i la resta estan disponibles en l'Annex 2:

Wärtsilä 12V26, AE/DE IMO Tier 2		Unitats
Potència generada per cilindre	325	kW
Revolucions	900	Rpm
Potència màxima	3.900	kW
Consum d'aire al 100% càrrega	7,6	kg/s
Consum combustible 85%	185	g/kW·h
Consum combustible 100%	187	g/kW·h

Taula 14: Característiques dels motors auxiliars (Font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com))

#### 4.3.4 Càlcul dels tancs

Posat que la autonomia es de 4.536 milles i la velocitat de navegació normal està prevista que siguin 23 nusos, surt un temps previst de consum de combustibles de 197,22 hores de navegació. Tenint en compte que la densitat del HFO és de 1,01 T/m<sup>3</sup> i la del MFO 0,89 T/m<sup>3</sup> i coneixent que els consums amb la propulsió al 85% s'obté que:

- Consum dels motors principals: 4,22T/h → 2/3 i 1/3 de 197,2 hores .
- Consum dels motors auxiliars (maniobra): 1,34 T/h → 1/3 de 197,2 hores i 1/2 en port.
- Consum dels motors auxiliars (navegació): 1,21 T/h → 2/3 de 197,2 hores i 2/3 del dia.
- Consum dels motors auxiliars (Càrr./Desc.): 1,15 T/h → 1/3 de 197,2 hores i 1/2 en port.
- Consum dels motors auxiliars (Nav. Noct.) 1,12 T/h → 2/3 de 197,2 hores i 1/3 del dia.

$$\text{Consum HFO} = 197,22 \cdot \frac{2 \left( 4,22 + \frac{2}{3} \cdot 1,21 + \frac{1}{3} \cdot 1,12 \right)}{3 \cdot 1,01} = 703,17 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc decantació HFO} = \text{Tanc Servei Diari HFO} = \frac{4,22 \cdot 24}{1,01} \cdot 1,11 = 111,34 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc magatzem} = (703,17 \cdot 1,11 - 2 \cdot 111,34) = 557,84 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc llots} = (111,34 + 2,2) \cdot \frac{197,22}{24} \cdot 0,015 = 13,99 \text{ m}^3$$

Figura 26: Volum del tancs de HFO (Font llots: <http://www.imo.org>)

$$\text{Consum MFO} = 197,22 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{\left(4,22 + \frac{1}{2} \cdot 1,34 + \frac{1}{2} \cdot 1,15\right)}{0,89} = 403,97 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc Servei Diari MFO} = \frac{\left(\frac{1}{3} \cdot 1,34 + \frac{2}{3} \cdot 1,15\right) \cdot 24}{0,89} \cdot 1,11 = 36,39 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc magatzem MFO} = 403,97 \cdot 1,11 - 36,39 = 412,02 \text{ m}^3$$

**Figura 27: Volum del tancs de MFO**

$$\text{Tanc magatzem oli MMPP} = 17 \cdot 2 = 34 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc magatzem oli MMAA} = 5,3 \cdot 2 = 10,6 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc aigua tècnica} = 400 \text{ m}^3 ; \text{Tanc d'aigua destil·lada} = 100 \text{ m}^3$$

**Figura 28: Volum de la resta dels tancs**

Els tancs de combustible s'han sobredimensionats un 11%, sobre el valor calculat, marge que correspon a un 2% estructural, 4% per expansió i 5% per aspiració de la canonada. Per tant com a resumint els valors en la següent taula queda que:

Tanc	Volum
Tanc magatzem HFO	557,84 m <sup>3</sup>
Tanc de Decantació HFO	111,34 m <sup>3</sup>
Tanc de Servei diari HFO	111,34 m <sup>3</sup>
Tanc llots	13,99 m <sup>3</sup>
Tanc magatzem MFO	412,02 m <sup>3</sup>
Tanc de Servei diari MFO	36,39 m <sup>3</sup>
Tanc magatzem oli MMP	34 m <sup>3</sup>
Tanc magatzem oli MMAA	10,6 m <sup>3</sup>
Tanc aigua tècnica	400 m <sup>3</sup>
Tanc d'aigua destil·lada	100 m <sup>3</sup>

**Taula 15: Resum dels volums dels tancs obtinguts**

Amb el càlcul d'aquests punts ja es pot dimensionar la càmera de màquines modelant el casc obtingut en l'apartat 3 mitjançant Rhinoceros, com es veurà en l'apartat 5.1.

## 4.4 Desenvolupament del sistema propulsiu elèctric

El sistema propulsiu elèctric està format per un conjunt de motors dièsel generadors que s'encarreguen de generar l'electricitat que alimentarà tots els serveis del vaixell, inclosos els motors elèctrics que mouen les hèlices i tots els consumidors de bord. En aquest cas la propulsió del vaixell ve determinada pel moviment d'un motor elèctric introduït dintre d'un sistema Azipod, que evita la necessitat d'eixos que travessin el casc i part de la sala de màquines, compactant una part dels sistemes.

### 4.4.1 Estimació inicial del motor, el par i la hèlice

Com en el cas anterior per iniciar els càlculs hidrodinàmics es suposa un rendiment propulsiu de 0,52 per determinar la potència necessària en cada Azipod. S'ha augmentat el rendiment base amb el que iniciar les iteracions ja que s'ha suposat que és previsible que sigui major degut ja que per exemple no hi ha uns eixos tant llargs ni les interaccions són similars. La potència obtinguda amb aquest valor és d'aproximadament uns 12.000 kW i s'utilitzarà per determinar el motor elèctric, que s'ha obtingut de l'empresa ABB segons la següent gràfica:

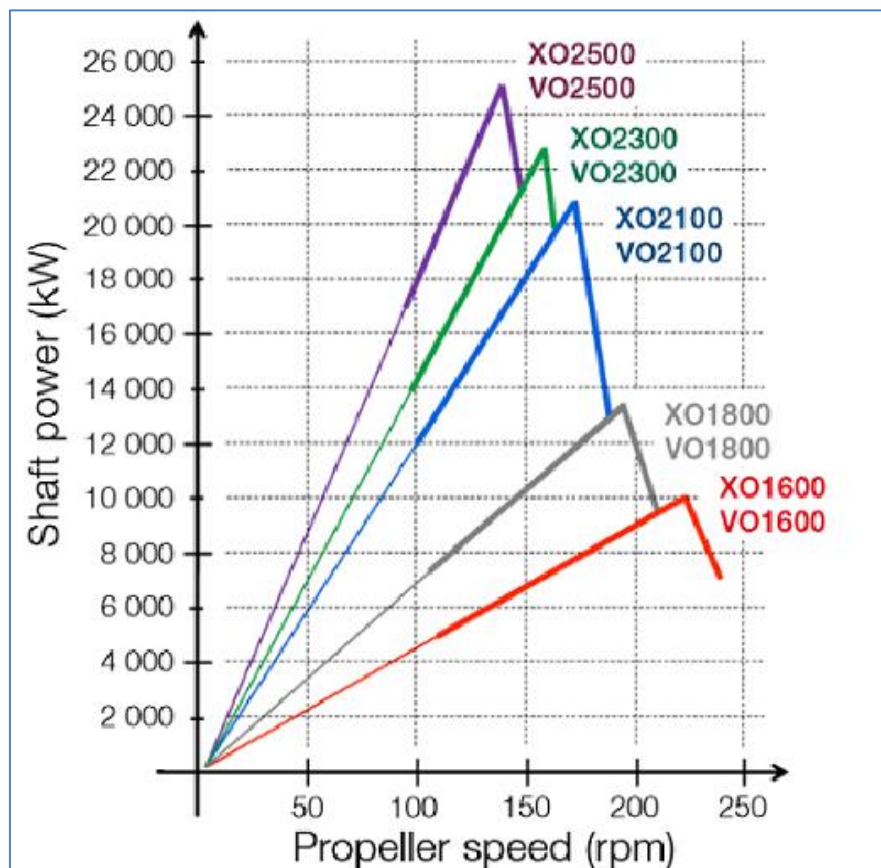


Figura 29: Corba de potències - revolucions pels Azipods (Font: [www.abb.com](http://www.abb.com))



Com es pot comprovar el la imatge anterior dintre del rang de potència previst hi ha diverses possibilitats viables, tot i que l'Azipod que millor encaixa és el de XO 1800. S'ha de lligar aquest motor amb un propulsor mitjançant iteracions, de tal manera que la hèlice ha de complir les condicions de propulsió i els valors amb els que treballa el motor.

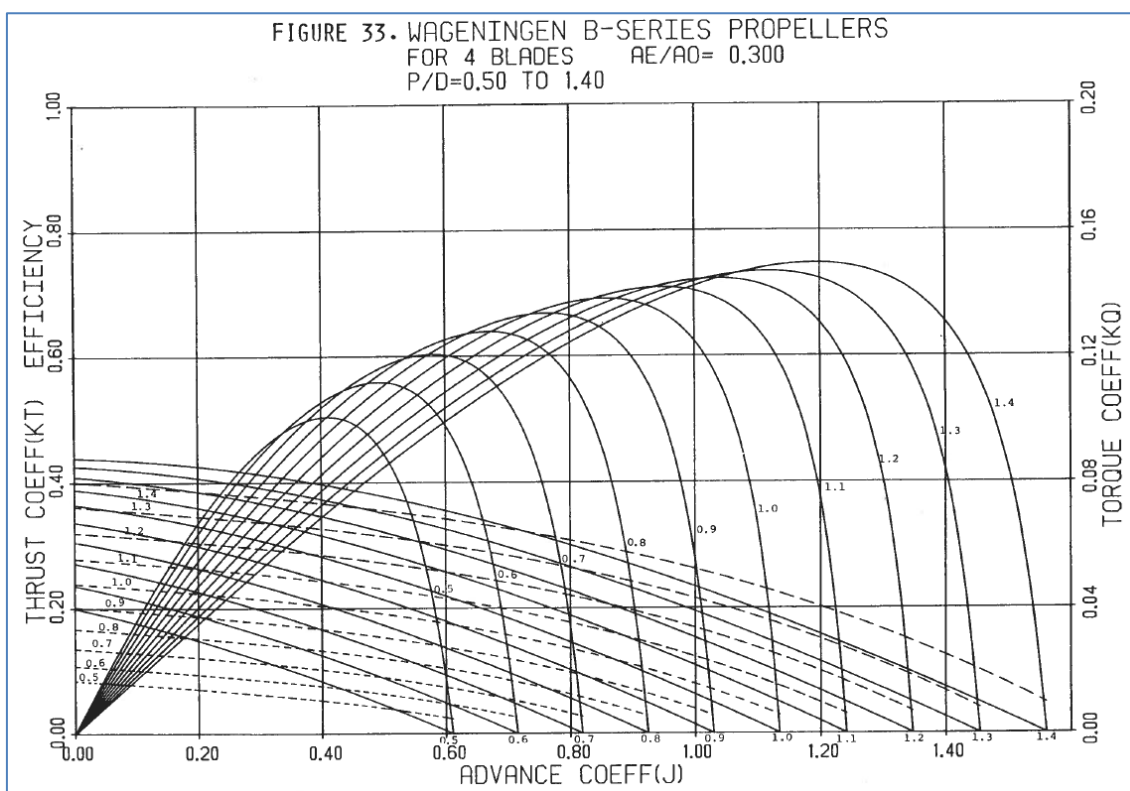
Tenint en compte les dimensions del l'Azipod (que es poden comprovar l'apartat 5.2), el diàmetre i profunditat de la hèlice es veuen limitats per les seves formes. Per tant si s'utilitza una hèlice de pales 4 (Z), el nou diàmetre és de 4,8 m (D) i la profunditat de l'eix és de 4,18 m ( $P_o - P_v = 105.286,371 \text{ kg/m}^2$ ) i on T segueix valent 598,96 kN (61.056,065 kg);, pel que:

$$P = Q \cdot w \rightarrow Q = \frac{12.000}{\left(\frac{200}{60} \cdot 2 \cdot \Pi\right)} = 572,96 \text{ kN} \cdot \text{m}; Kt = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4}$$

$$\frac{Ae}{Ao} = \frac{(1,3 + 0,3 \cdot Z) \cdot T}{(P_o - P_v) \cdot D^2} + K = 0,16; J = \frac{Va}{(D \cdot n)}; Kq = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$$

**Figura 30: Fórmules utilitzades per entrar a les corbes Kt- Kq**

On es pot apreciar un augment del Ae/Ao mínim fins a 0,16 tot i que com en el cas anterior el Ae/Ao mínim aportat per la sèrie B de Wageningen és de 0,30:



**Figura 31: Corbes Kt – J – Kq, B4 – 30 (Font: Publication 237, University of Michigan)**

Partint de 12.000 kW inicials s'han buscat les dos revolucions possibles segons la gràfica a 173 rpm i 200 rpm. Al introduir aquests valors en la corba de la hèlice es troba que a 200 el rendiment inicial  $\eta_o$  augmenta, pel que la potència requerida disminueix. Amb aquest  $\eta_o = 0,684$  a 200 s'obté que  $\eta_P = 0,666$  (segons les fórmules vistes a la Figura 17) i per tant una nova potència necessària de 9.356,72 kW per eix, una reducció important.

Amb aquesta nova potència s'entra de nou a la corba del motor elèctric i se'n recullen les revolucions de funcionament, que introduint-les en els corbes de la hèlice donen uns nous valors amb els que es van iterant revolucions i potències fins que la diferència de par entre els valors provinents del motor i els corresponents al Kq de les gràfiques de la hèlice estan suficientment aprop. Els resultats obtinguts donen una diferència de par entre la hèlice i el motor del 2,19% (cosa que valida el mètode) i es mostren a continuació:

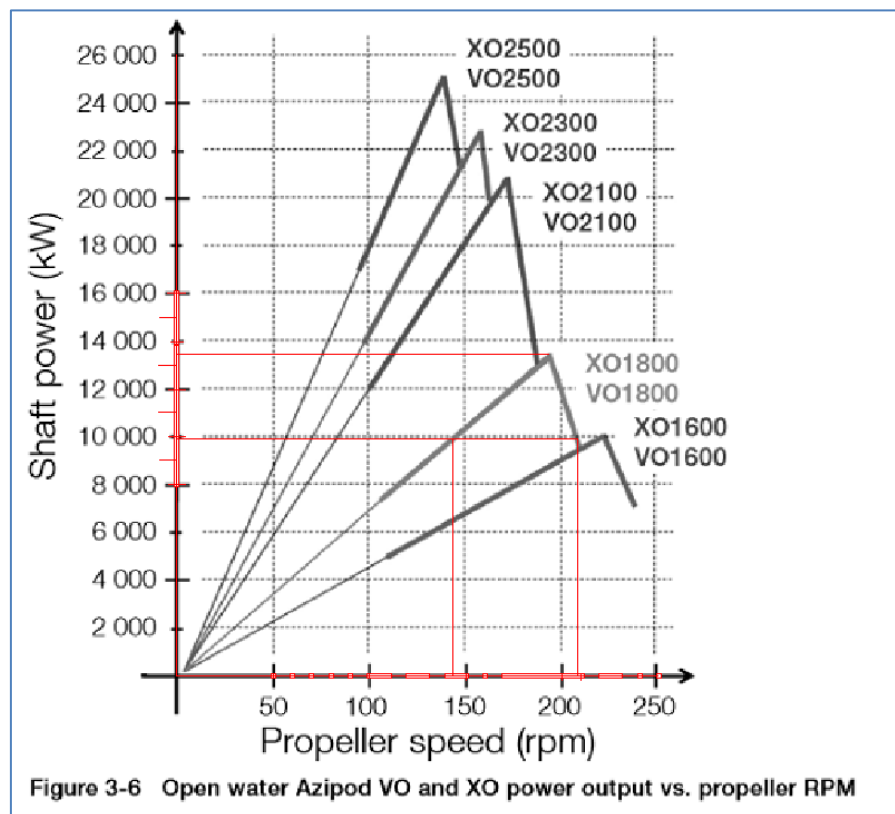
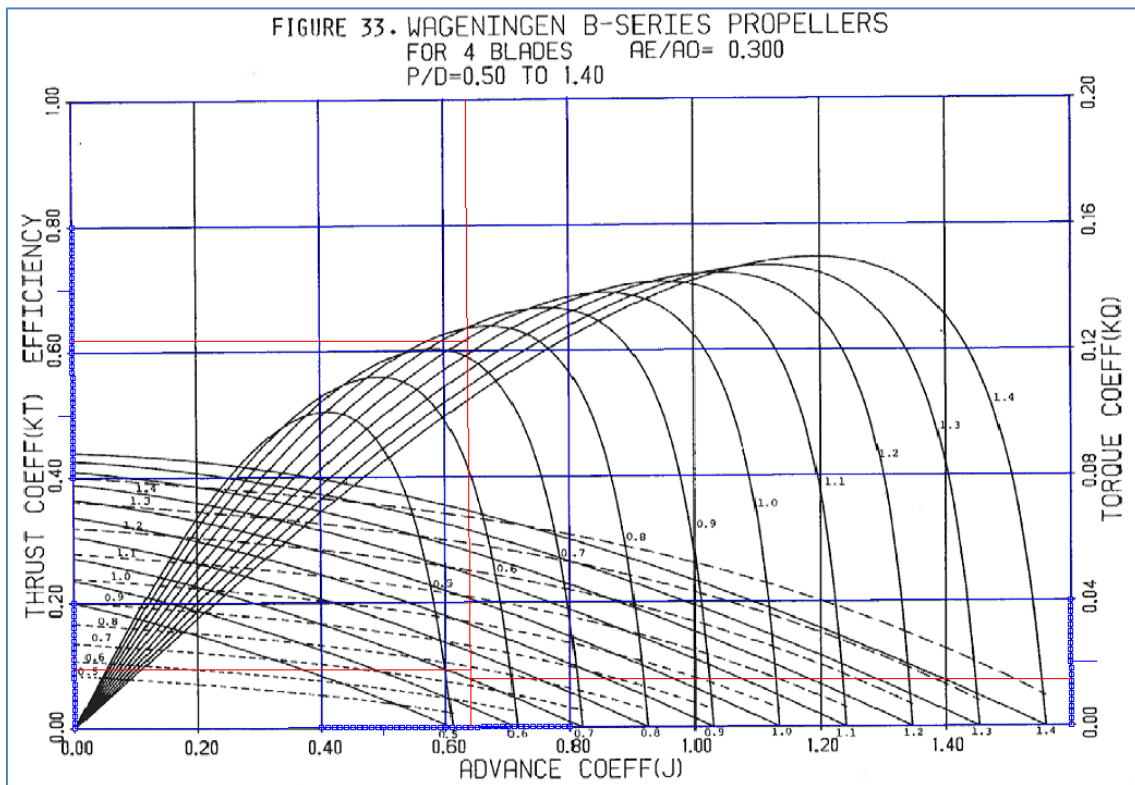


Figura 32: Gràfica amb els valors definitius

Potència (kW)	Revolucions (rpm)	Kt	J	Kq	Diferència par (kN · m)
12.000	173	0,132	0,752	0,019	249
12.000	200	0,099	0,650	0,015	137
9.892	204	0,095	0,638	0,015	10

Taula 16: Iteracions realitzades per obtenir el conjunt hèlice – motor

En la següent imatge es mostra la gràfica utilitzada per seleccionar la hèlice:



**Figura 33: Iteracions realitzades a les corbes Kt – J – Kq amb Ae/Ao = 0,30**

Els valors utilitzats corresponents al rendiment propulsiu es poden veure en la taula següent:

$$P = 11.397 \rightarrow Q = \frac{11.397}{\left(\frac{204}{60} \cdot 2 \cdot \pi\right)} = 541,48 \text{ kN} \cdot \text{m} ; Kq = 0,015 \text{ i } \frac{H}{D} = 0,74$$

$$\eta_{Rr} = 0,9737 + 0,111 \cdot (Cp + 0,0255 \cdot LCB) - 0,06325 \cdot \frac{H}{D} = 0,998$$

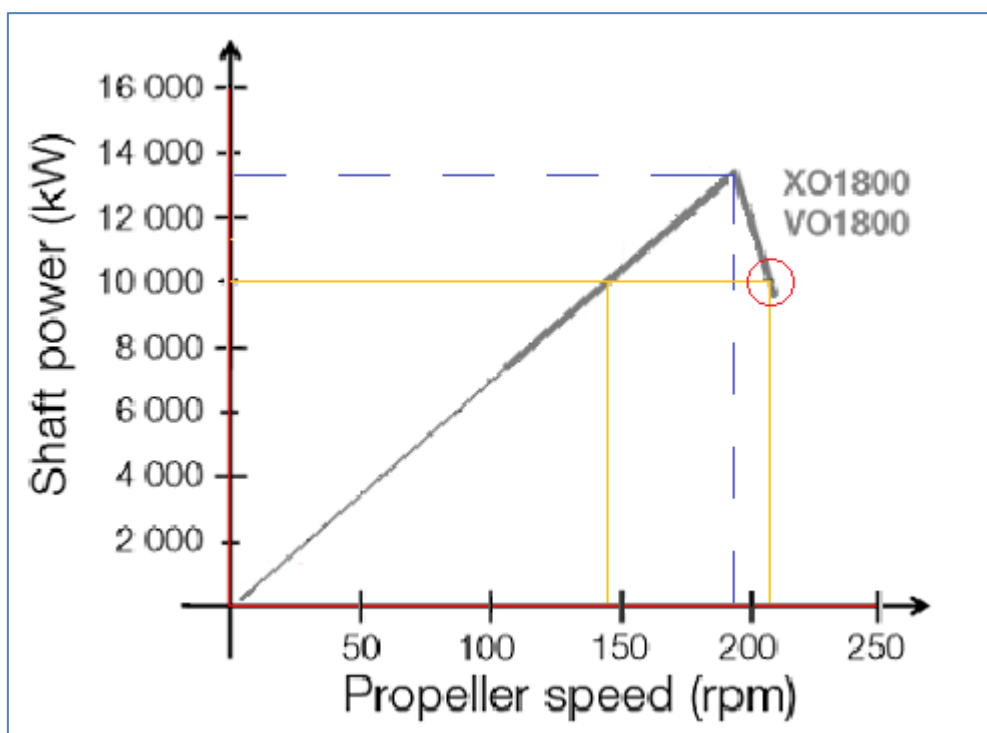
$$MCR = \frac{EHP}{\eta_P \cdot Kp} \rightarrow MCR = \frac{EHP}{\eta_M \cdot \eta_{Rr} \cdot \eta_o \cdot \eta_H \cdot Kp}$$

$$= \frac{12.466,07}{0,98 \cdot 0,998 \cdot 0,644 \cdot 1,000 \cdot 0,85} = 23.274,52 \text{ kW} ; \text{ que al } 85\% \approx 19.783,35 \text{ kW}$$

**Figura 34: Potència obtinguda amb el rendiment propulsiu de 0,547**  
(Font Keller i Holtrop:: <http://ocw.mit.edu>)

Per tant els motors elèctrics utilitzats treballen a un règim del 73,82% del seu màxim ( $\approx 13.400 \text{ kW}$  cada un segons les gràfiques).

Tot i això es presenta un problema al utilitzar el motor en aquestes condicions de funcionament, com s'ha pogut intuir en la figura 32 i que aquí es ressaltava:



**Figura 35: Zona de funcionament problemàtica de l'Azipod**

Com es veu en la Figura 35 al treballar en la zona de funcionament escollida resulta que per aconseguir les revolucions en les que el propulsor dona el par a la potència necessària, aquest ha de passar obligatòriament per la zona de màxima potència i seguir treballant en una zona de règim nominal massa elevat. A més es dona la paradoxa de que per augmentar la velocitat (i per tant la potència entregada) s'han de reduir revolucions, i es treballa en unes condicions en les que el rendiment s'allunya de l'ideal.

Per tant es proposa realitzar una petita modificació al sistema del Azipod introduint-hi un sistema de multiplicadora, on s'aconsegueixen per una banda les revolucions òptimes de funcionament del motor i per l'altre les condicions òptimes de par i revolucions en la hèlice. Tenint en compte que la potència en ambdós punts és la mateixa i que la mateixa recta talla la corba de funcionament de l'Azipod, s'obté que la relació entre engranatges  $i$  val:

$$\begin{aligned}
 & \text{Potència hèlice} = \text{Potència motor} = 9.891,67 \text{ kW} \rightarrow Qh = 463,03 \text{ kN} \cdot \text{m a } 204 \text{ rpm} \\
 & \text{Si el motor treballa al 75\% a } 143 \text{ rpm, } Qm = 660,55 \text{ kN} \cdot \text{m; per tant } i = \frac{204}{143} = 1,427
 \end{aligned}$$

**Figura 36: Relacions obtingudes aplicant la multiplicadora**

Per tant si s'aconsegueix introduir una multiplicadora, que pot estar basada en un sistema de tres engranatges (dos paral·lels, un per part del motor, un altre per part de la hèlice i un perpendicular que actuï de nexa) s'aconseguirà que tant el motor com la hèlice escollits treballin en una zona òptima de funcionament. Aquesta multiplicadora podria alimentar-se de l'oli lubricant que alimenta el propi Azipod i no hauria d'ocupar un empatx excessiu ja que la diferència entre ambdues rodes només és d'un 29,90%; en qualsevol cas s'hauria de confirmar amb el subministrador la possibilitat de realitzar aquesta modificació que podria implicar un lleuger augment de la longitud i del pes de l'Azipod.

Finalment en quant al rendiment de la hèlice obtingut es troba que amb aquesta aproximació hi ha una diferència de par entre el valor que dona la relació de la multiplicadora i l'obtingut amb les corbes de la hèlice de 10 kN·m, que representa un 2,19%, cosa que permet validar l'aproximació si es permet la condició citada en el paràgraf anterior.

#### 4.4.2 Selecció dels motors Dièsel – generadors

Dels càlculs del punt anterior i del balanç elèctric vist l'apartat 4.1 (taula 6), s'han obtingut les potències necessàries a generar a bord pels motors Dièsel tant per propulsar el vaixell a la velocitat prevista (al 85% de la potència nominal del motor) com per alimentar els diferents consums previstos a bord. Per tant a l'hora de seleccionar els generadors s'ha de tenir en compte el consum dels motors més 6.417,73 kW corresponents als serveis previstos durant el període de navegació, i que s'ha suposat un rendiment dels motors elèctrics del 94%, cosa que incrementa el seu consum en un 1,064%:

				Consum de combustible i règim	
	Model	Potències requerides (kW)	Nº Motors	A 23 nusos	A 24,1 nusos
<b>Opció A</b>	Wärtsilä 16V46F	En total:	2 x 19.200	4,72 T/h al 72%	5,55 T/h al 81%
<b>Opció B</b>	Wärtsilä 12V46F	A 23 kn són 21.046,11 kW	3 x 14.400	4,72 T/h al 64%	5,55 T/h al 72%
<b>Opció C</b>	Wärtsilä 7L46F	A 24,1 kn són 24.760,1 KW	4 x 8.400	4,75 T/h al 82%	5,58 T/h al 93%
<b>Opció D</b>	Wärtsilä 16V32		4 x 9.280	4,94 T/h al 74%	5,71 T/h al 84%

**Taula 17: Comparativa de possibles motors generadors**

Dels quatre motors proposats els que tenen un règim més adequat de funcionament i un consums raonables són les opcions C i D, en el que la segona opció té un règim més baix però un consum més elevat. Per acabar de determinar quina és la millor opció s'avaluen totes les condicions de càrrega de la instal·lació elèctrica.

En la següent taula es fa una comparativa completa de les situacions avaluades, tenint en compte que en maniobra hi ha un increment de consum elèctric respecte el sistema convencional, corresponent al consum dels propulsors a 5 nusos de 188,98 kW:

Situacions	Opcions	kW requerits	Motors	Règim %	Consums (T/h)
<b>Maniobra</b>	C	7.379,44	1	87,55%	1,31
	D		1	78,76%	1,32
<b>Càrrega / Descàrrega</b>	C	6.224,38	1	74,10%	1,11
	D		1	67,07%	1,13
<b>Repòs</b>	C	2.386,05	1	28,41%	0,42
	D		1	25,71%	0,43
<b>Navegació nocturna 85%</b>	C	30.152,99	4	80,21%	4,66
	D		4	72,60%	4,85
<b>Navegació nocturna 100%</b>	C	34.432,34	4	91,26%	5,49
	D		4	82,61%	5,61

**Taula 18: Comparativa dels motors generadors preseleccionats en la Taula 16**

Com es pot comprovar tant en la taula 17 com en la 18, la tendència dels motors seleccionats és que la opció C té un règim de funcionament relativament més elevat (partint de la base que el motor treballa millor al 85% que en altres règims) i que té un consum menor. La diferència entre règims entre la opció D i la C no és massa elevada (entre un 7 – 10% aproximadament), i en els consums la diferència és d'aproximadament 0,2 T/h (3 – 3,5%) i pot representar entre 40 i 50 T més de combustible consumit. Vistes les diferències s'ha escollit l'opció C tant pel seu consum de combustible més reduït com per que habilita l'ampliació del consum elèctric de la instal·lació en el futur. En la condició de repòs es podria optar en connectar el vaixell a la xarxa elèctrica del port en comptes de funcionar en un règim tan baix.

Les característiques principals del motor escollit es presenten en la taula següent, i la resta estan disponibles en l'Annex 2:

Wärtsilä 7L46F, AE/DE IMO Tier 2		Unitats
Potència generada per cilindre	1200	kW
Revolucions	600	Rpm
Potència màxima	8.400	kW
Consum d'aire al 100% càrrega	16,6	kg/s
Consum combustible 50%	180	g/kW·h
Consum combustible 75%	178	g/kW·h
Consum combustible 85%	173	g/kW·h
Consum combustible 100%	179	g/kW·h

**Taula 19: Característiques dels motors auxiliars (Font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com))**

#### 4.4.3 Càlcul dels tancs

Com en el sistema convencional, la autonomia és de 4.536 milles i el temps de consum de combustible és de 197,22 hores. Tenint en compte que la densitat del HFO és de 1,01 T/m<sup>3</sup> i la del MFO 0,89 T/m<sup>3</sup>, i coneixent que els consums s'obté que:

- Consum en navegació (81,74%): 4,75T/h → 2/3 i 1/3 de 197,2 hores i 2/3 del dia.
- Consum en navegació nocturna (80,21%): 4,66 T/h → 2/3 i 1/3 de 197,2 hores i 1/3 del dia.
- Consum en maniobra: 1,31 T/h → 1/3 de 197,2 hores i 1/2 en port.
- Consum en Càrrega / Descàrrega: 1,11 T/h → 1/3 de 197,2 hores i 1/2 en port.

$$\text{Consum HFO} = 197,22 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\left(\frac{2}{3} \cdot 4,75 + \frac{1}{3} \cdot 4,66\right)}{1,01} = 614,64 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc decant. HFO} = \text{Tanc S. Diari HFO} = \frac{\left(\frac{2}{3} \cdot 4,75 + \frac{1}{3} \cdot 4,66\right) \cdot 24}{1,01} \cdot 1,11 = 124,54 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc magatzem} = (614,64 \cdot 1,11 - 2 \cdot 124,54) = 433,17 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc llots} = (124,54 + 2,2) \cdot \frac{197,22}{24} \cdot 0,015 = 15,62 \text{ m}^3$$

Figura 37: Volum del tancs de HFO (Font llots: <http://www.imo.org>)

$$\text{Consum MFO} = 197,22 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{\left(\frac{2}{3} \cdot 4,75 + \frac{1}{3} \cdot 4,66 + \frac{1}{2} \cdot 1,31 + \frac{1}{2} \cdot 1,11\right)}{0,89} = 375,54 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc Servei Diari MFO} = \frac{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 4,75 + \frac{1}{3} \cdot 4,66\right) \cdot 24}{0,89} \cdot 1,11 = 47,11 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanc magatzem MFO} = 375,54 \cdot 1,11 - 52,64 = 369,74 \text{ m}^3$$

Figura 38: Volum del tancs de MFO



$$Tanc\ magatzem\ oli\ motors = 17 \cdot 4 = 68\ m^3 ;$$

$$Tanc\ aigua\ tècnica = 400\ m^3 ; Tanc\ d'aigua\ destil \cdot lada = 100\ m^3$$

**Figura 39: Volum de la resta dels tancs**

En la següent taula es fa un resum dels tancs calculats obtinguts:

Tanc	Volum
Tanc magatzem HFO	433,17 m <sup>3</sup>
Tanc de Decantació HFO	124,54 m <sup>3</sup>
Tanc de Servei diari HFO	124,54 m <sup>3</sup>
Tanc llots	15,62 m <sup>3</sup>
Tanc magatzem MFO	369,74 m <sup>3</sup>
Tanc de Servei diari MFO	47,11 m <sup>3</sup>
Tanc magatzem oli MMP	68 m <sup>3</sup>
Tanc aigua tècnica	400 m <sup>3</sup>
Tanc d'aigua destil·lada	100 m <sup>3</sup>

**Taula 20: Resum dels volums dels tancs obtinguts**

Amb el càlcul d'aquests punts ja es pot dimensionar la càmera de màquines modelant el casc obtingut en l'apartat 3 mitjançant Rhinoceros, com es veurà en l'apartat 5.2.

## 5. Desenvolupant la càmera de màquines

Ara que ja s'han calculat els elements principals d'ambdues càmeres de màquines es procedirà a virtualitzar-la mitjançant el software Rhinoceros, utilitzant el casc generat amb Maxsurf en l'apartat 3. A l'estructura base del casc se li han practicat una sèrie de modificacions a fi de dotar-lo d'una forma més semblant a la d'un ferri, utilitzant com a base el vaixell Sorolla de la naviliera Trasmediterránea que disposa la següent disposició general:



Figura 40: Imatge del Sorolla de Trasmediterránea (Font base: <http://www.trasmeships.es>)

A més com a element decoratiu se li ha afegit una estructura que simula ser el pont de navegació. La visió del model resultant es pot apreciar en la següent imatge :

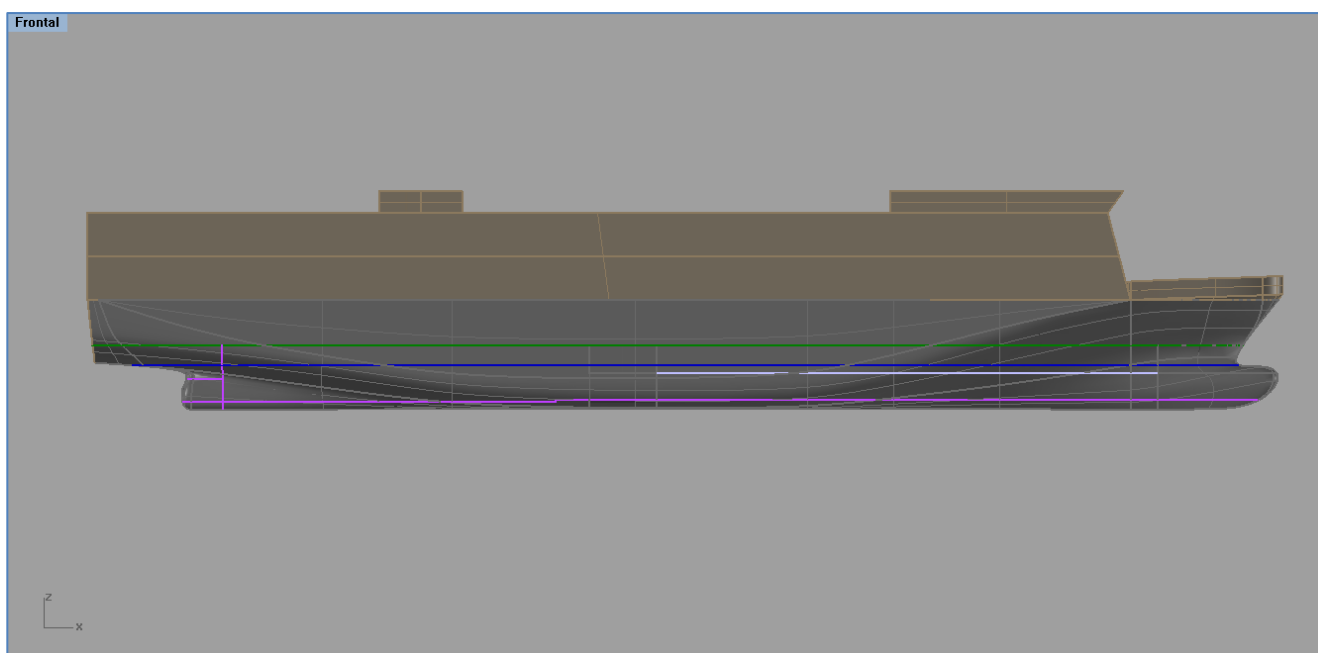
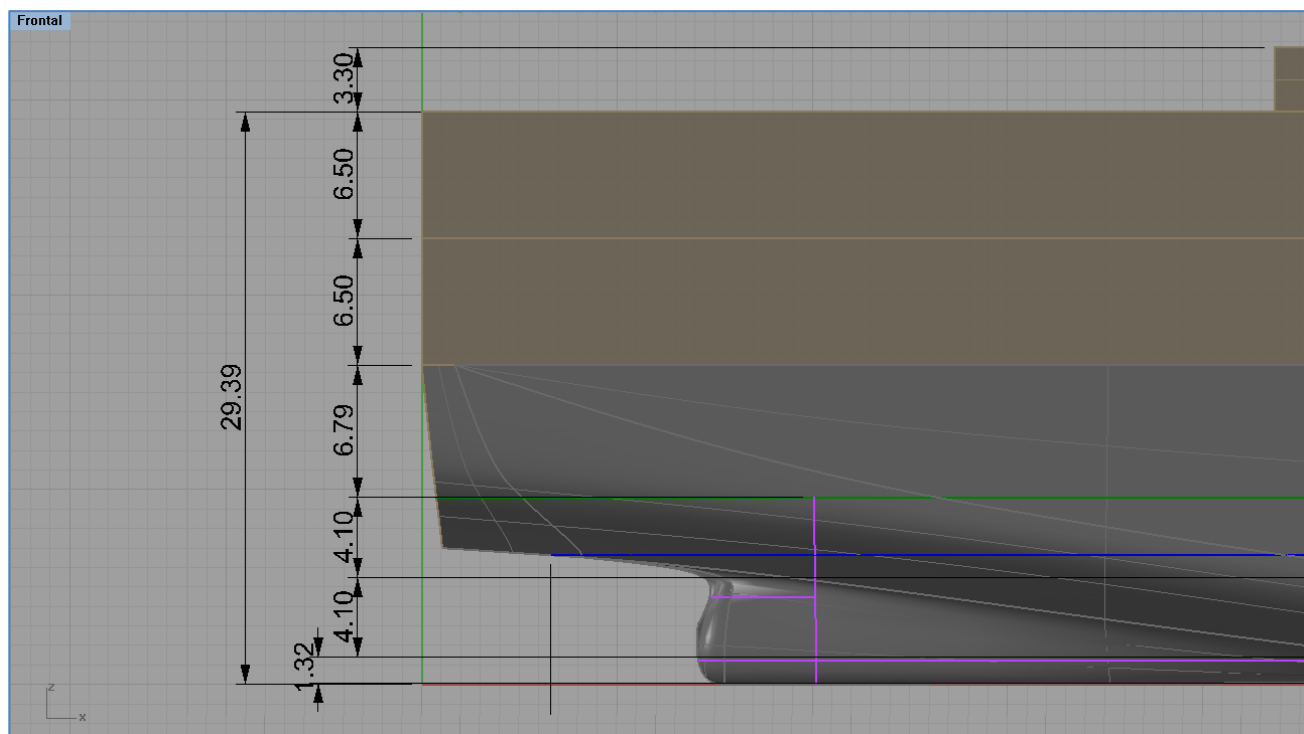


Figura 41: Imatge longitudinal del model 3D del ferri

En la imatge anterior hi ha una sèrie de línies de colors que junt amb les seves cotes pertinents s'explicaran a continuació:



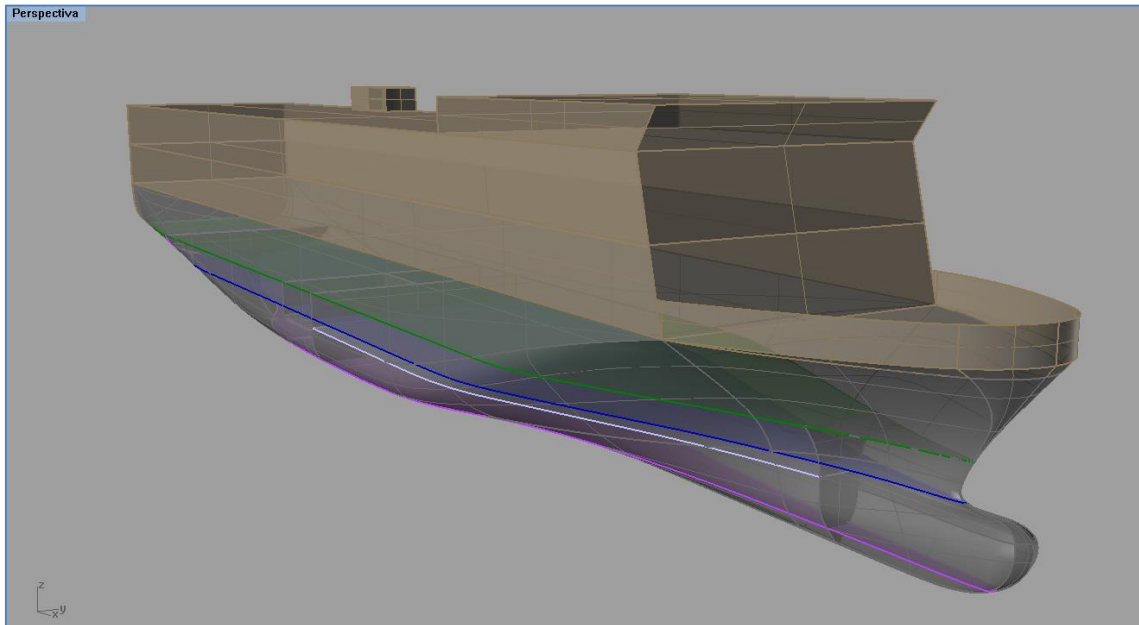
**Figura 42: Cotes de les cobertes previstes per al ferri**

Com es pot veure en aquesta imatge, el puntal de l'estructura del vaixell són 29,4 m al que se li sumen 3,3 m que corresponen tant a la caseta de les xemeneies i el motor d'emergència com l'altura dedicada al pont de navegació (present en la figura 37). La primera altura prevista és la del doble fons respecte la línia base i té entre 1,32 i 1,4 m d'altura, en funció del punt en longitud. Entre la línia base i la primera coberta (no existent en la sala de màquines) hi ha una distància de 4,1 m.

Entre la primera coberta i la segona coberta, considerada la coberta principal (en color verd) hi ha de nou una distància de 4,1 m, sumant un puntal total respecte la línia base de 9,1 m. Si s'observa amb atenció es podrà apreciar en el bulb de popa la zona reservada al pic entre la coberta del doble fons i la primera coberta.

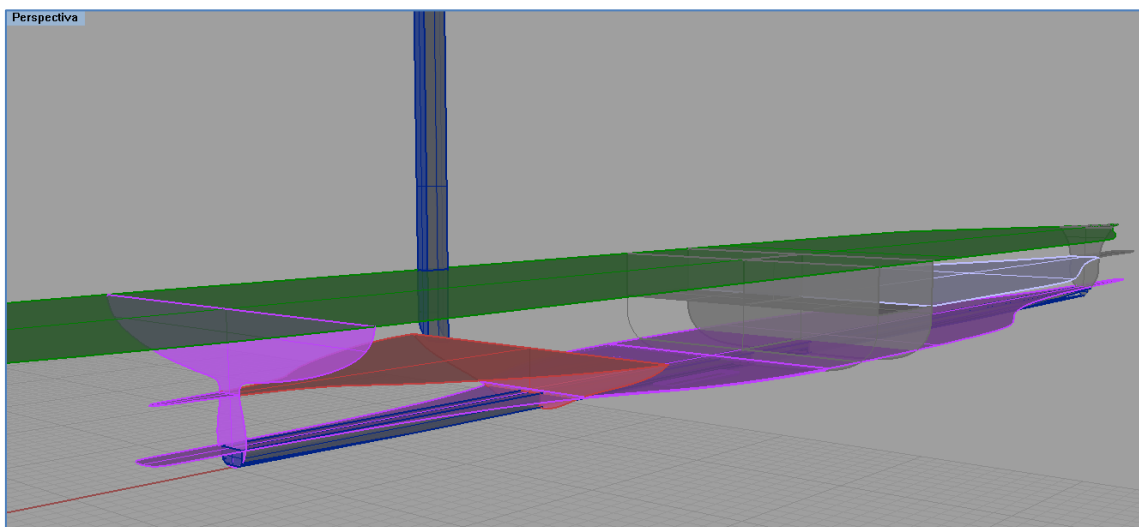
La línia blava que es pot apreciar entre la primera i la segona coberta correspon a al calat d'estiu (és a dir la altura màxima de flotació respecte la línia base) i té una altura estimada de 6,63 m. Les següents altures previstes a partir de la coberta principal de 6,79 m, i les dos de 6,5 m corresponen a les cobertes destinades a contenir els transports rodats en la part inferior i el passatge i la tripulació en les cobertes superiors.

Es pot apreciar en la següent imatge en perspectiva per una banda les formes generals del vaixell, com la zona destinada al bulb i el pic de proa. En ordre també es poden apreciar les cobertes inferiors: en lila el doble fons, en gris la coberta u, en blau la línia de flotació del calat d'estiu i en verd la línia corresponent a la coberta 2 que és la principal.



**Figura 43: Imatge en perspectiva i semitransparència del ferri**

Partint d'aquesta estructura base inicial es modificaran les cobertes i s'afegiran els elements en funció de la propulsió instal·lada adaptant-la quan sigui possible. En la imatge següent imatge sense el casc es poden apreciar en blau els espais reservats al túnel de canonades (en la zona del doble fons) i el reservat al guardacalor (canonada vertical).



**Figura 44: Imatge en perspectiva de les cobertes sense el casc**

## 5.1 La càmera de màquines del sistema convencional

Amb el casc i els elements ja disponibles ja es disposen dels elements per començar a muntar la sala de màquines i fer la reserva dels espais pels equips auxiliars que si bé no es calcularan en aquest projecte si que es tindran en compte a l'hora de fer aquest dimensionament general. El primer pas serà ubicar la línia d'eixos i posteriorment la maquinària principal, i partir d'aquí es generaran la resta d'espais ubicant i cubicant segons els criteris que s'exposaran a continuació.

### 5.1.1 Ubicació de la línia d'eixos i la maquinària principal

La posició de la línia d'eixos ja estava determinada des del punt 4.2, on s'utilitzava una línia fictícia per generar les dimensions màximes disponibles per les hèlices, utilitzant aquestes línies com a base per generar els eixos que les mouran. Els diàmetres d'aquests eixos vénen determinats segons la normativa de les societats de classificació, utilitzant unes fórmules bastant similars i que es poden trobar a la Part 4, Capítol 4 regla 208.3 del DNV – GL:

$$\text{Diàmetre mínim} = F \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n} \cdot \frac{560}{Rm + 160}}$$

$$F = 95 ; k = 1,15 \text{ i } 1,10 ; P = 14.400 \text{ kW} ; n = 568 \text{ i } 214 \text{ rpm} ; Rm = 600 \text{ MPa (acer)}$$

Figura 45: Fórmules per obtenir els diàmetres dels eixos (Font: [www.dnvgl.com](http://www.dnvgl.com))

En la fórmula anterior el valor de k depèn de la ubicació de l'eix, considerant que el tram interior correspon a la sortida del motor abans d'arribar a la reductora (568 rpm i k=1,10), que el tram entremig correspon al que està ubicat entre la sortida de la reductora i la botzina (214 rpm i k=1,10) i el tram exterior el que està ubicat entre la sortida de la botzina i la hèlice (214 rpm i k=1,15). A l'hora d'ubicar els motors s'ha intentat reduir al màxim la longitud d'aquests eixos. Els valors obtinguts s'expressen en la següent taula:

	Tram exterior	Tram entremig	Tram interior
Diàmetre	401,4 mm	383,91 mm	277,28 mm
Longitud	22,96 m	10,38 m	1,05 m

Taula 21: Diàmetres obtinguts amb les fórmules de la Figura 41

Una vegada obtinguts els diàmetres dels eixos es procedeix a generar-los i col·locar tant els motors com els arbotants, que s'han adequat al diàmetre i posició de la hèlice respecte la seva posició i el casc. En les següents imatges es veuen les dimensions emprades:

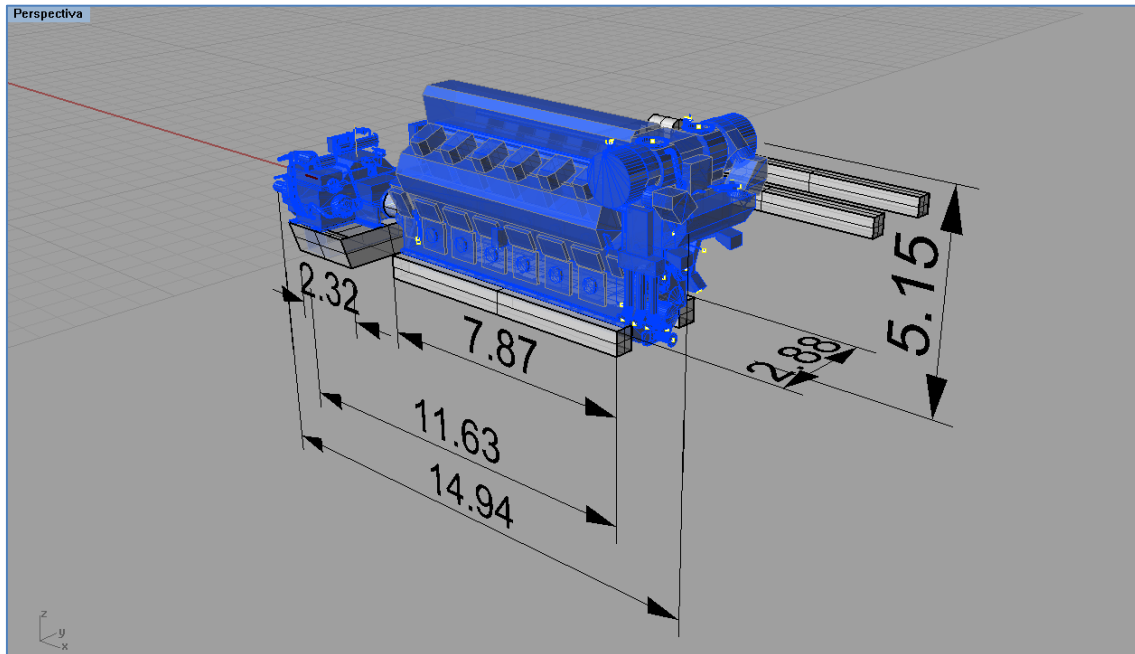


Figura 46: Cotes del motor principal amb la reductora i els suports (Font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com))

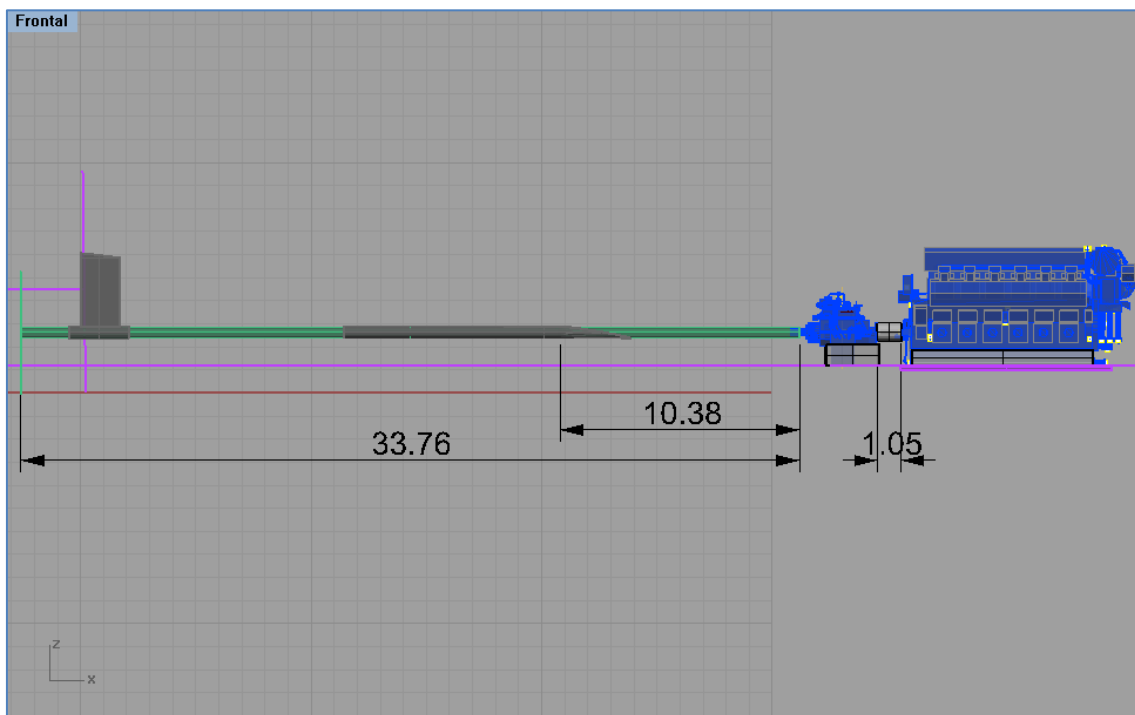
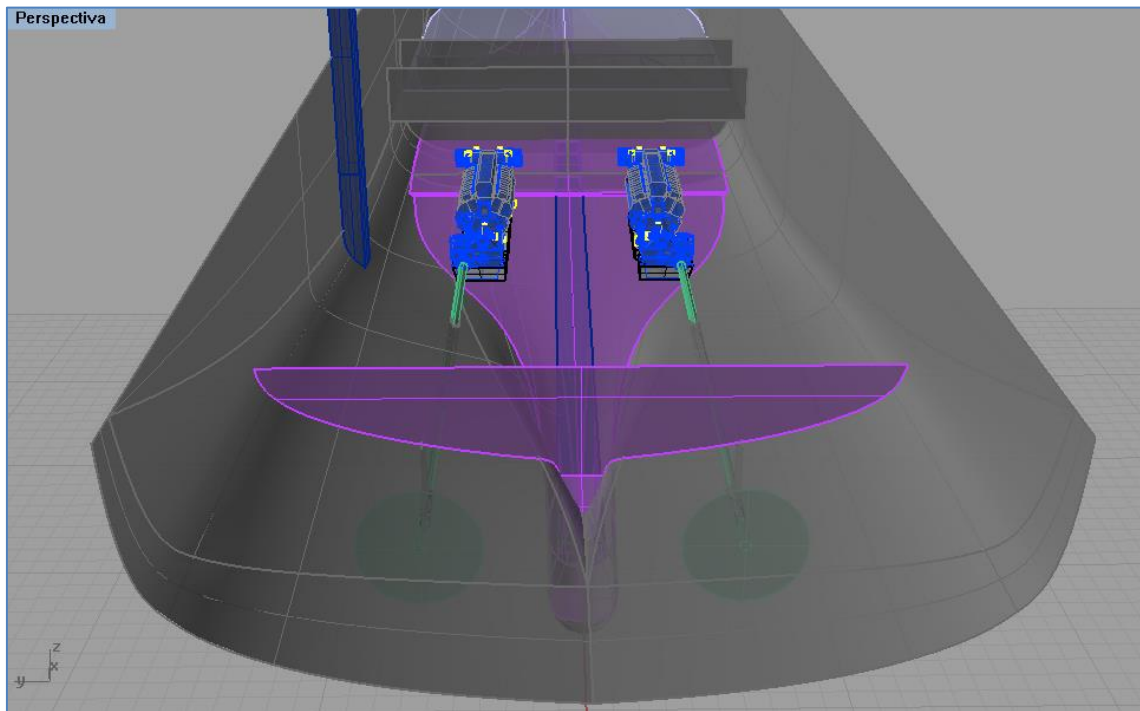
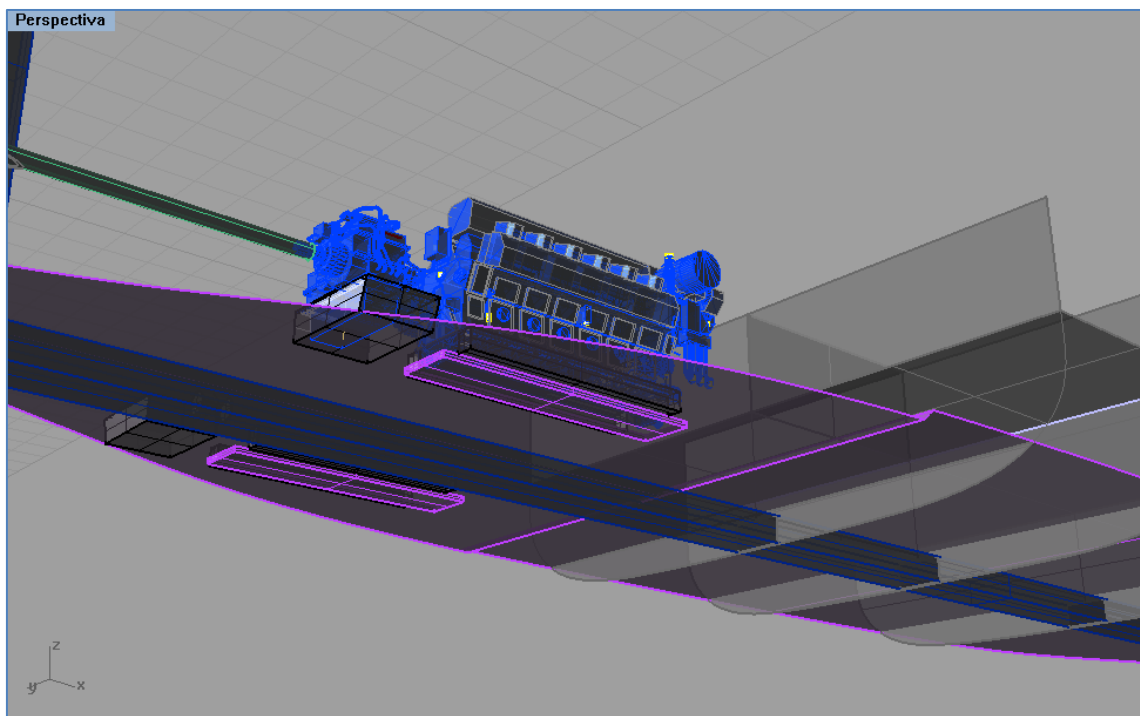


Figura 47: Longitud dels eixos, des del motor a la hèlice passant per la reductora

Finalment una vegada instal·lats els motors, degut a la seva profunditat s'han tingut que realitzar dos adaptacions: la primera una rebaixa de l'altura del doble fons des dels 1,4 m que hi ha a la resta del vaixell fins als 1,32 m, i en el cas dels motors s'han tingut que practicar dos pous per a què hi cabessin els càrters dels motors:



**Figura 48:** Perspectiva amb el conjunt hèlice, eix, reductora i motor integrats en el casc



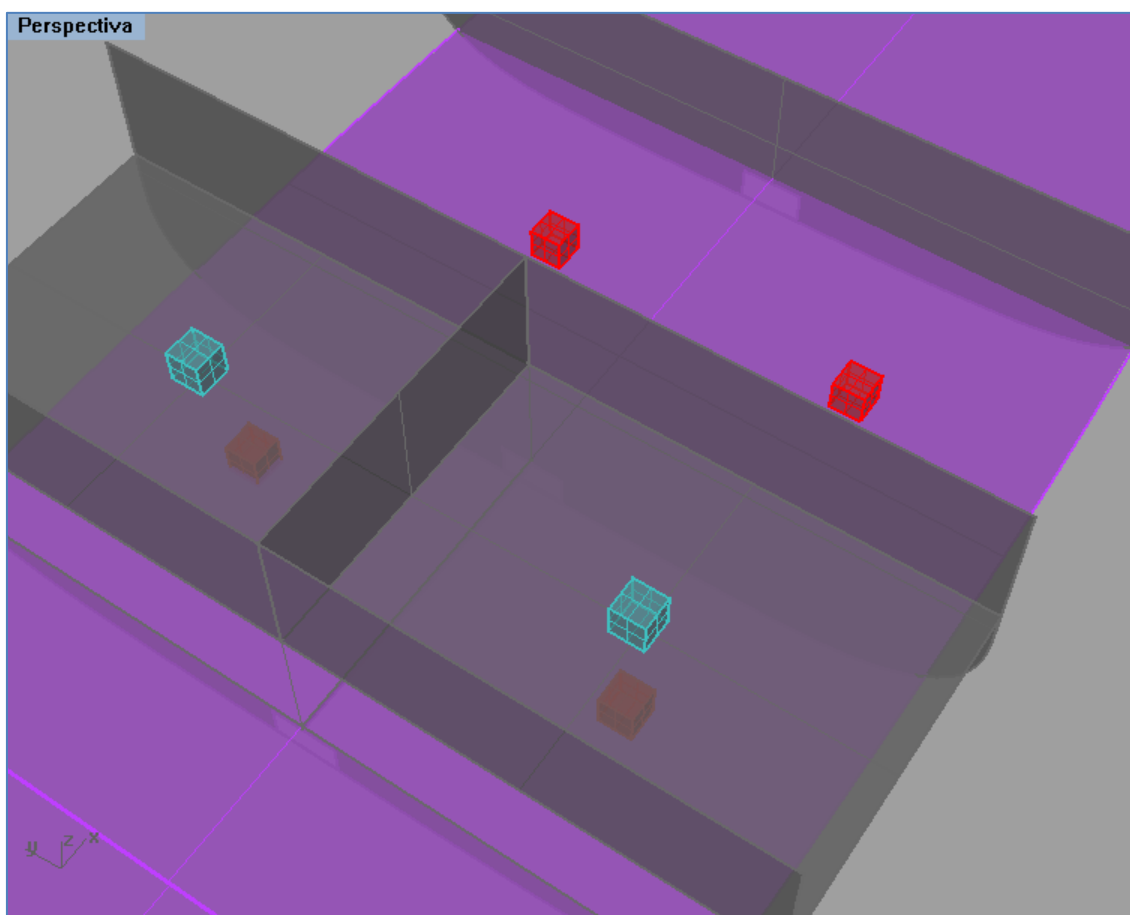
**Figura 49:** Perspectiva on s'aprecia el desnivell i els dos pous corresponents als motors



### 5.1.2 Introducció dels tancs a la càmera de màquines

Una vegada determinada la ubicació dels sistemes propulsius es procedirà a introduir els tancs calculats en l'apartat 4.3.4 i que es poden veure resumits en la taula 15. En el cas del sistema propulsiu s'ha optat per concentrar el volum dels tancs en la zona que limita la càmera de màquines de la resta de compartiments del vaixell, junt al espai dedicat a la sala de control.

Aquesta reserva d'espais s'ha representat en la següent imatge mitjançant uns cubs de colors, sent els vermells els que identifiquen les zones destinades a contenir els tancs i els blaus les zones dedicades a la sala de control i altres elements com el taller:



**Figura 50: Espais reservats de forma icònica mitjançant cubs de colors**

En aquest sistema de propulsió s'ha intentat donar forma als tancs seguint criteris constructius, és a dir que fossin fàcilment fabricables fora del espai destinat a muntar-se, que no depenguessin de les formes del casc i que per tant no tinguessin formes difícils de desenvolupar. Els volums aconseguits tenen formes quasi cúbiques i s'han ubicat en aquests espais assenyalats, deixant el doble fons reservat per a tancs de llast excepte el túnel de canonades citat anteriorment per transvasament de fluids, entre d'altres.

Els tancs s’han insertat buscant obtenir un equilibri en estabilitat transversal, igualant els pesos en ambdues bandes i introduint-ne en el interior uns separadors amb la intenció de reduir en la mesura de lo possible l’efecte de las superfícies lliures. La distància mínima des dels extrems dels tancs 1, 2 i 3 respecte el casc és de 1,70 m, mentre que la distància mínima de la resta dels tancs respecte el casc és de 0,53 m.

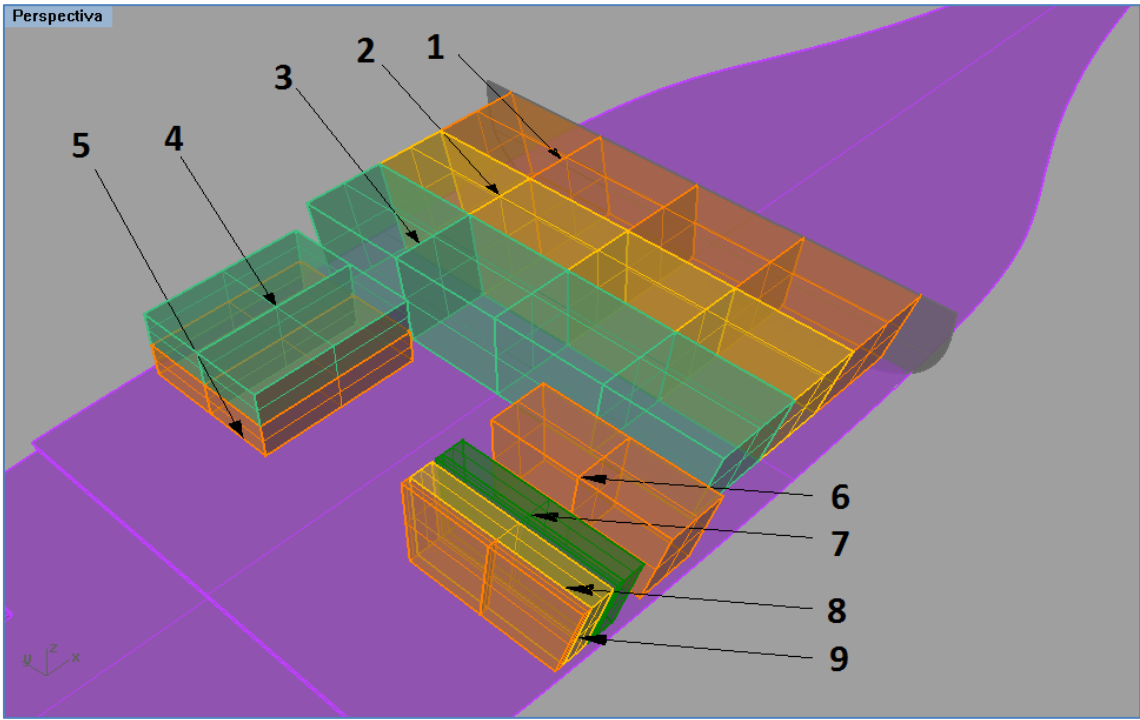


Figura 51: Reserva de tancs

• Nº 1: Tanc magatzem Fuel – Oil	• Nº 6: Tanc Servei Diari Fuel – Oil
• Nº 2: Tanc magatzem Dièsel – Oil	• Nº 7: Tanc d’oli Motors Principals
• Nº 3: Tanc magatzem Aigua Dolça	• Tanc d’oli Motors Auxiliars
• Nº 4: Tanc magatzem Aigua Destil·lada	• Nº 8: Tanc Servei Diari Dièsel – Oil
• Nº 5: Tanc Decantació Fuel – Oil	• Nº 9: Tanc Llots

Taula 22: Llegenda dels tancs inserits en la CM

### 5.1.3 Delimitació del espai de màquines

S'ha pogut veure l'espai destinat a la càmera de màquines en les figures tridimensionals anteriors, tot i que no en veritable magnitud. El volum total destinat a la càmera de màquines en aquest disseny està format des de la coberta del doble fons fins a la coberta principal (és a dir dues cobertes per sobre) incloent alguns mampares:

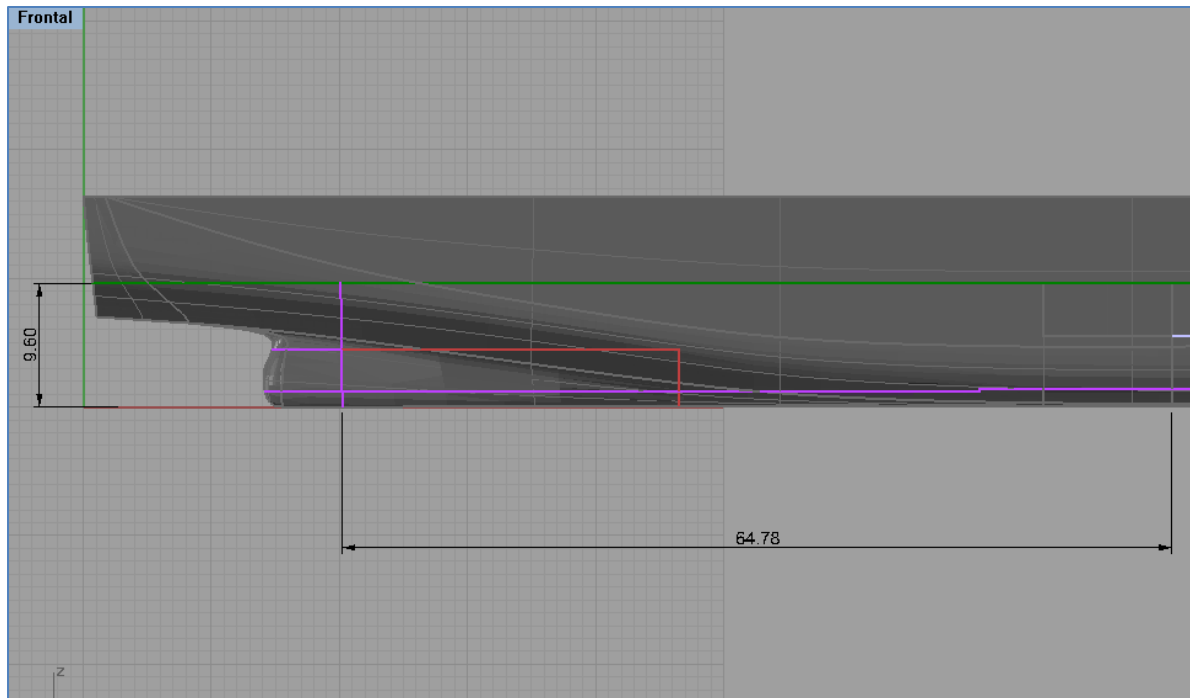


Figura 52: Imatge en perspectiva de la longitud i altura de la càmera de màquines

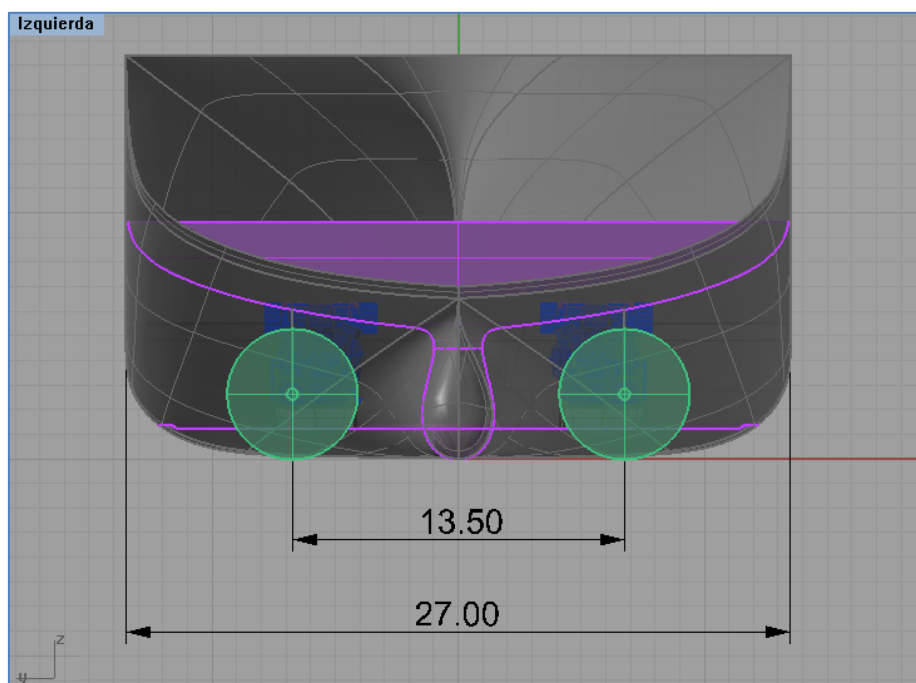
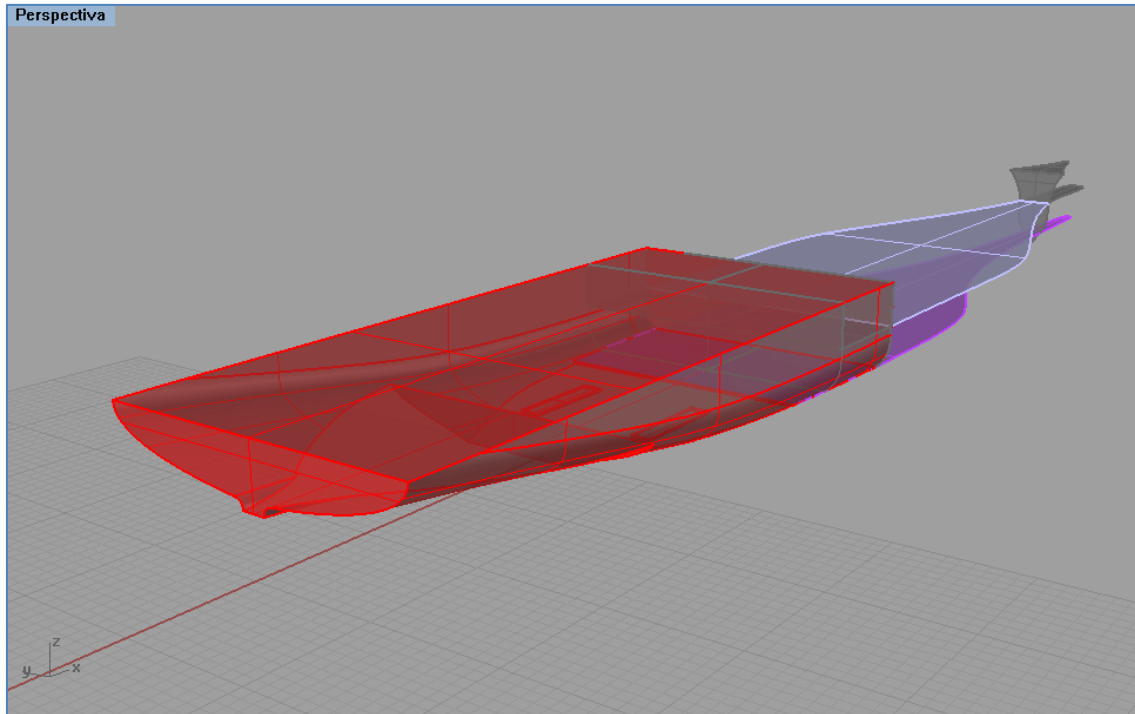


Figura 53: Vista des de popa de la càmera de màquines mesurant les mànegues

Una vegada delimitat el volum destinat a la càmera de màquines del sistema propulsiu s'ha convertit tot l'espai en una multisuperfície i s'ha mesurat el seu volum, a fi de calcular la quantitat d'aire que s'ha d'introduir en la càmera tant per renovar-lo:



**Figura 54: Volum corresponent als espais dedicats a la càmera de màquines**

Per tant tenint en compte l'aire necessari estimat per alimentar i refrigerar els motors, el volum d'aire a introduir a la càmera de màquines serà:

$$\text{Consum d'aire dels 4 motors} = (25,2 \cdot 2 + 7,6 \cdot 2) \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1,13 \text{ kg}} = 207.761,81 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Consum d'aire dels 2 compressors} = 2 \cdot 1\% \text{ de } 207.761,81 = 4.154,34 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Aire per evacuar el calor radiat dels motors} = 10\% \text{ de } 207.761,81 = 20.771,68 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Si el volum de la CM són } 11.593,13 \text{ m}^3 \text{ i es faran } 30 \frac{\text{renovacions}}{\text{h}} = 347.793,92 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

I que per tant sumen un total de  $580.436,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  a insertar en la càmera de màquines

**Figura 55: Conjunt de càlculs per determinar el caudal d'aire a introduir en la CM**

#### 5.1.4 Introducció dels elements restants i reserva d'espais

Un dels elements importants que restaven per col·locar són els motors auxiliars, que són dos com s'ha indicat en l'apartat 4.3.3, tot i que el criteri general és incloure'n un de més de recanvi i per facilitar els manteniments sense perdre generació elèctrica:

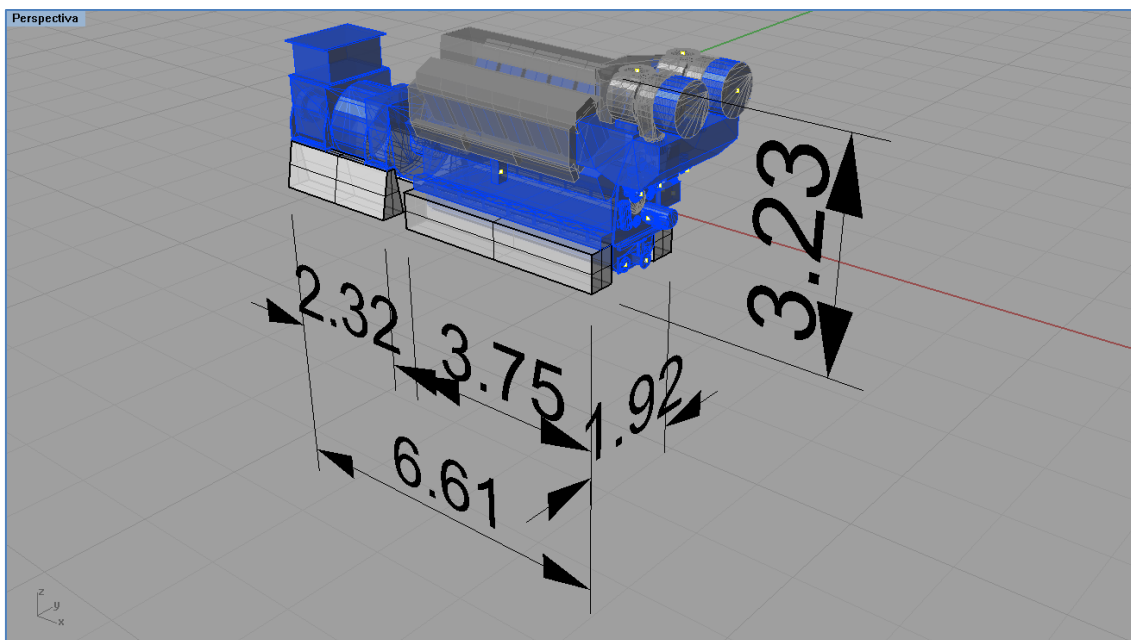


Figura 56: Cotes del motor auxiliar, els alternadors i els suports (Font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com))

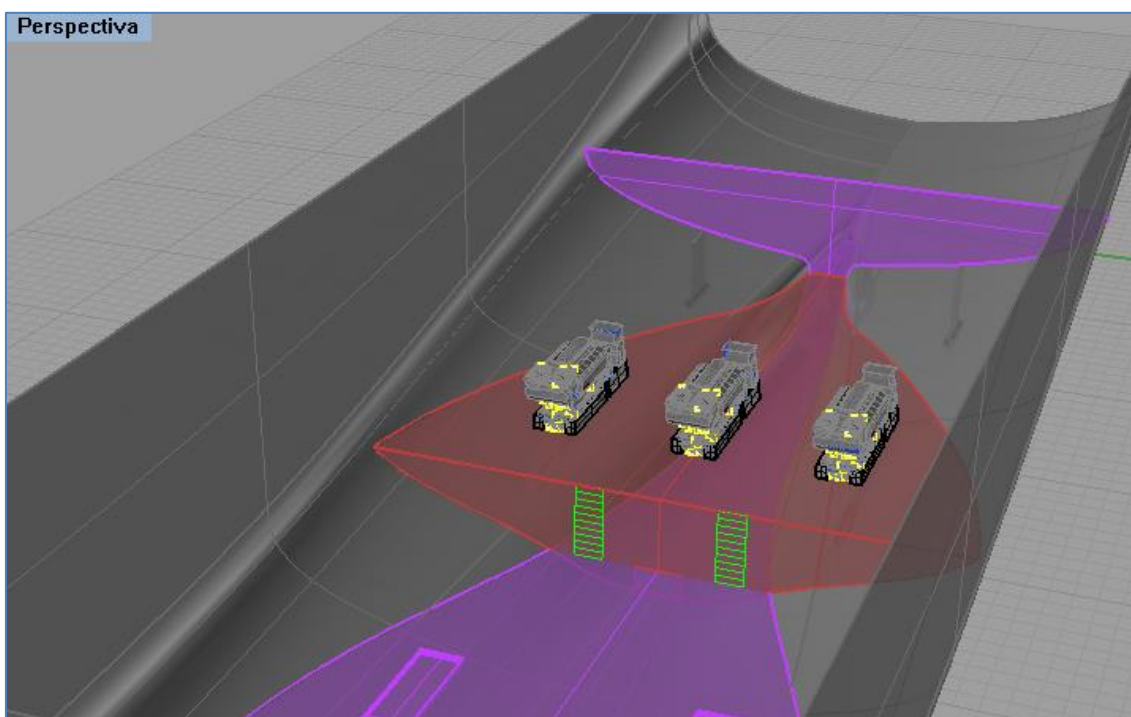
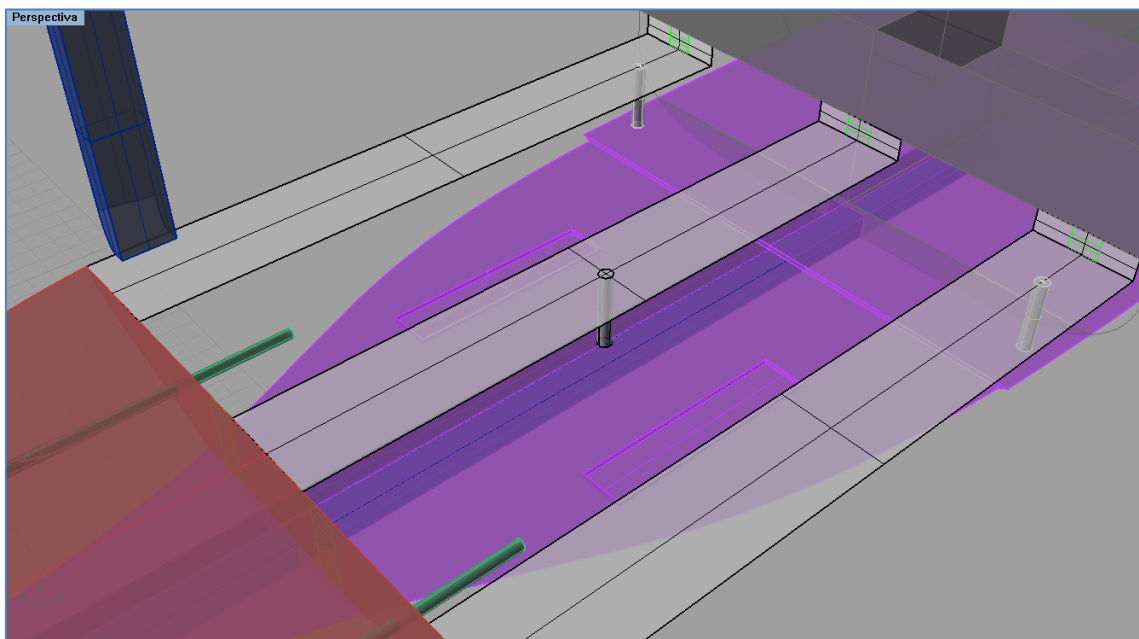


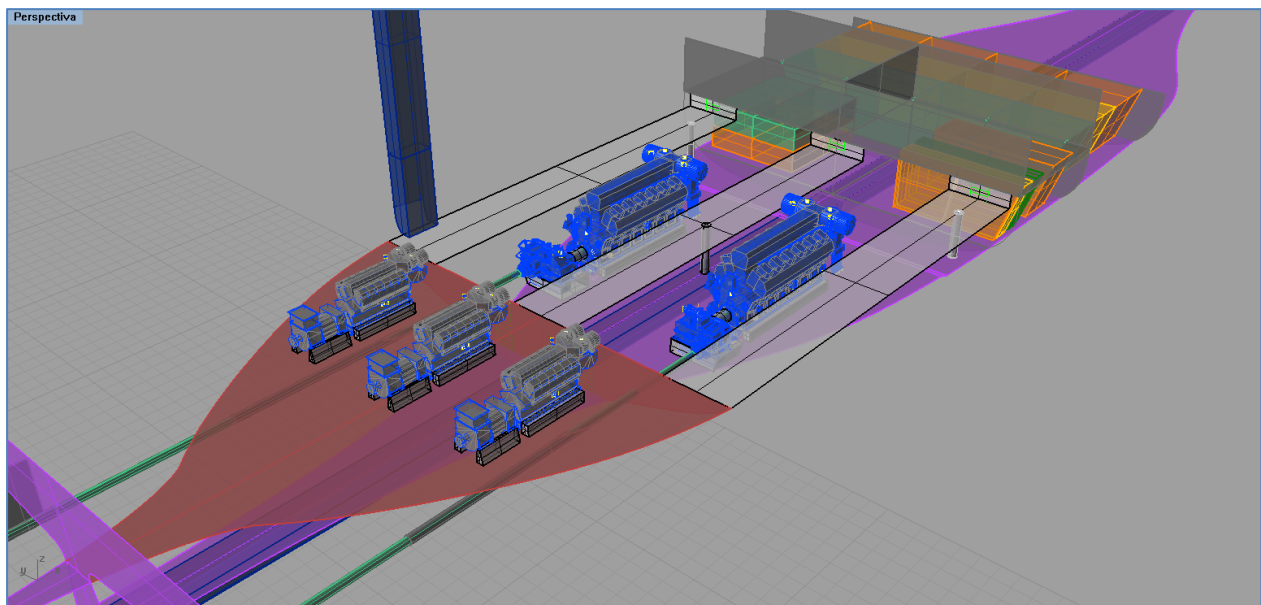
Figura 57: Ubicació dels motors auxiliars en la coberta intermèdia, per sobre dels principals

Com es veu en la figura anterior els motors auxiliars s'han ubicat en una coberta superior i s'han representat unes escales que representen la ubicació real de les escales d'accés aquesta coberta, que no serien de mà si no d'escalons i barana metàl·liques.

En la imatge següent es poden apreciar en gris les dos cobertes i la passarel·la afegides per aprofitar el volum disponible. Aquest espai addicional, junt amb el que no estigui ocupat pel sistema propulsiu està dedicat a col·locar tots aquells elements que no es dimensionaran en aquest projecte com són les bombes, filtres o separadores, entre d'altres.



**Figura 58: Representació de les cobertes i passarel·la afegides**



**Figura 59: Perspectiva final amb els elements inclosos en la CM**

### 5.1.5 Balanç de pesos dels equips introduïts

Una vegada introduïts els elements s'ha realitzat un balanç de pesos a forma de comparativa, que es pot veure de forma més completa en l'Annex 1. Com en el cas del balanç elèctric s'han considerat la major part dels elements comuns (ja que les potències consumides són relativament similars), i s'han comptabilitzat els pesos del sistema propulsiu (suposant el pes de l'eix), el sistema de generació elèctrica i el pes dels fluids dels tancs.

El pes corresponent als tancs s'ha calculat tenint en compte les densitats de cada fluid:

$$\begin{aligned} Pes &= \text{Volums de (HFO + Llots)} \cdot 1,01 + (\text{MFO + Olis}) \cdot 0,89 + (\text{Aigua}) \cdot 1 = \\ Pes &= (727,37 + 13,99) \cdot 1,01 + (403,97 + 34 + 10,60) \cdot 0,89 + 400 + 100 = 1.648,01 \text{ T} \end{aligned}$$

**Figura 60: Càlcul del pes dels tancs**

I el pes del sistema propulsiu:

$$\begin{aligned} Pes \text{ Sist. Prop.} &= 2 \cdot (\text{Motor} + \text{Reduct.} + \text{Eix}) = 2 \cdot (201,10 + 40,00 + 33,15) = 548,50 \text{ T} \\ Pes \text{ Sist. Gen.} &= 3 \cdot (\text{Generadors}) + \text{Motor Emergència} = 3 \cdot 61,50 + 3,27 = 187,77 \text{ T} \end{aligned}$$

**Figura 61: Càlcul del pes del sistema propulsiu i generació elèctrica**

A continuació s'exposa el resum obtingut dels pesos:

TABLA CONJUNTA	
Elements	Pes Total (T)
Ventilació i Aire Condicionat	5,15
Tallers, ascensors y portes	17,60
Equips Auxiliars de Màquines	18,60
Serveis no continus	11,40
Serveis continus	3,20
Sistema generació elèctrica	187,77
Sistema Propulsiu	548,50
Volum dels tancs	1.648,01
<b>Total</b>	<b>2.440,23</b>

**Taula 23: Resum del balanç de pesos**



## 5.2 La càmera de màquines del sistema elèctric

Amb el casc i els elements ja disponibles ja es disposen dels elements per començar a muntar la sala de màquines i fer la reserva dels espais pels equips auxiliars que si bé no es calcularan en aquest projecte si que es tindran en compte a l'hora de fer aquest dimensionament general. El primer pas serà ubicar en la línia d'eixos el Azipod i posteriorment la maquinària generadora, preveient la resta d'espais ubicant i cubicant segons els criteris que s'exposaran a continuació.

### 5.2.1 Ubicació de la línia d'eixos i la maquinària principal

La posició de la línia d'eixos ja estava determinada des del punt 4.2, on s'utilitzava una línia fictícia per generar les dimensions màximes disponibles per les hèlices, utilitzant aquestes línies com a base per generar els eixos que les mouran. A diferència del cas anterior els diàmetres d'aquests eixos vénen ja inclosos en el sistema del Azipod, pel que teòricament no hauria d'encarregar-se'n la seva construcció. En qualsevol cas s'ha calculat el diàmetre teòric segons la normativa de les societats de classificació, utilitzant les fórmules que es poden trobar a la Part 4, Capítol 4 regla 208.3 del DNV – GL:

$$\text{Diàmetre mínim} = F \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n} \cdot \frac{560}{Rm + 160}}$$

On  $F = 95$  ;  $k = 1,15$  i  $1,10$  ;  $P = 11.637,26 \text{ kW}$  ;  $n = 204$  i  $143 \text{ rpm}$  ;  $Rm = 600 \text{ MPa}$

**Figura 62: Fórmules per obtenir els diàmetres dels eixos (Font: [www.dnvgl.com](http://www.dnvgl.com))**

El valor de k depèn de la ubicació de l'eix, considerant que el tram interior correspon a la sortida del motor abans d'arribar a la multiplicadora (143 rpm i k=1,10), el tram entremig al ubicat entre la sortida de la reductora i la botzina (204 rpm i k=1,10) i el tram exterior l'ubicat entre la sortida de la botzina i la hèlice (201 rpm i k=1,15). Els valors obtinguts són:

	Tram exterior	Tram entremig	Tram interior
Diàmetre	379,9 mm	363,3 mm	409,0 mm

**Taula 24: Diàmetres obtinguts amb les fórmules de la Figura 63**

Obtinguts els diàmetres dels eixos es procedeix a col·locar els Azipods coneixent el diàmetre i posició de la hèlice respecte el casc. Un inconvenient es presenta durant la seva col·locació, com es pot veure en les següents imatges, així com les dimensions emprades:

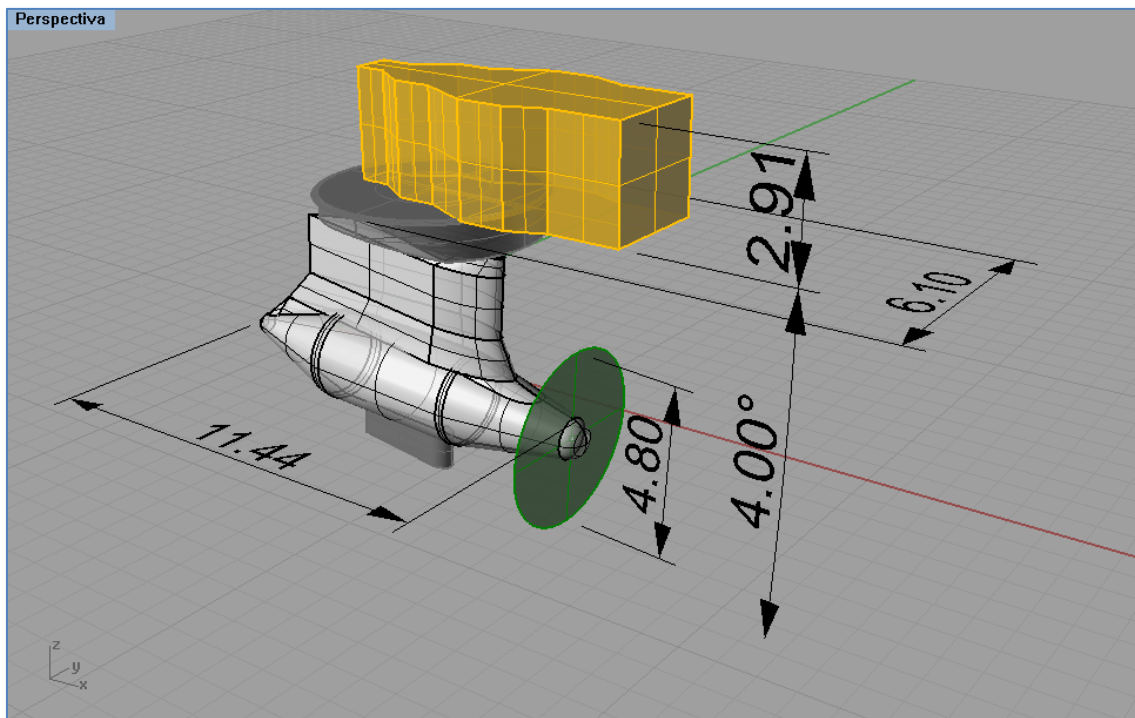


Figura 63: Cotes d'un dels Azipods (Font de les dimensions: [www.abb.com](http://www.abb.com))

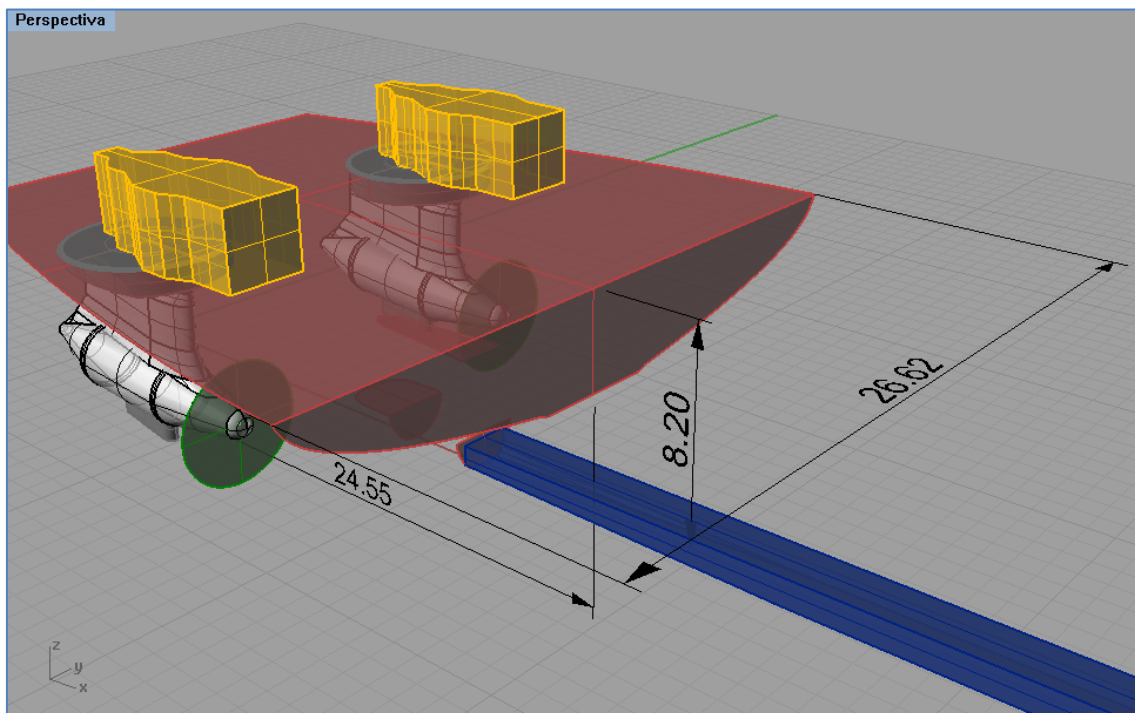
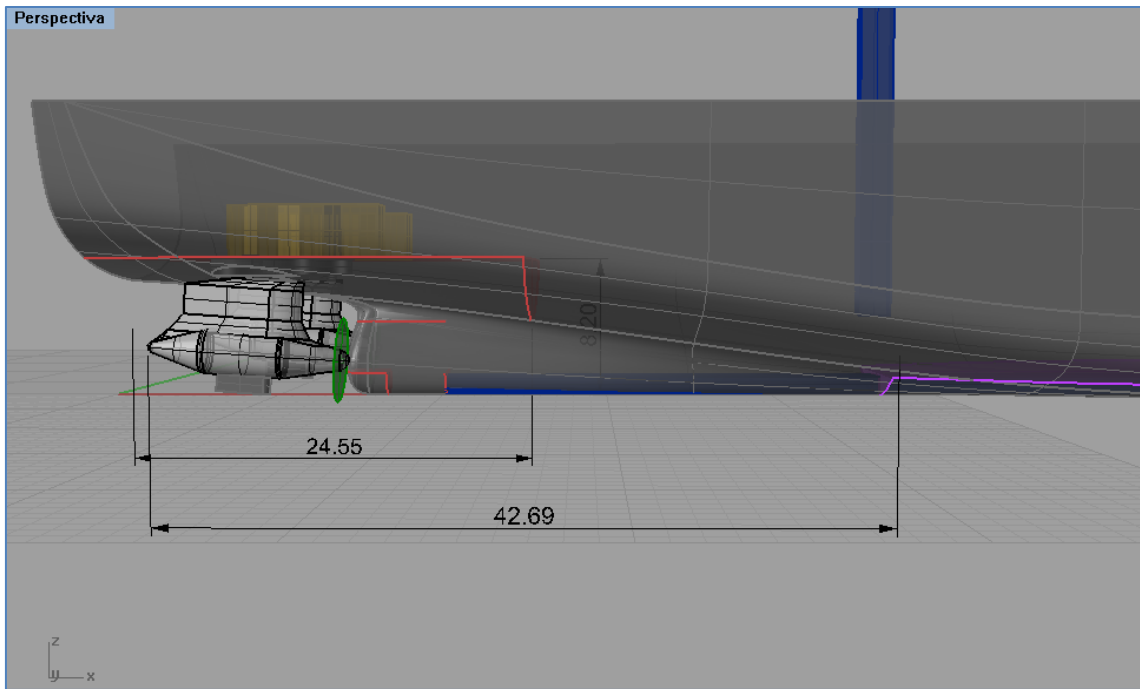
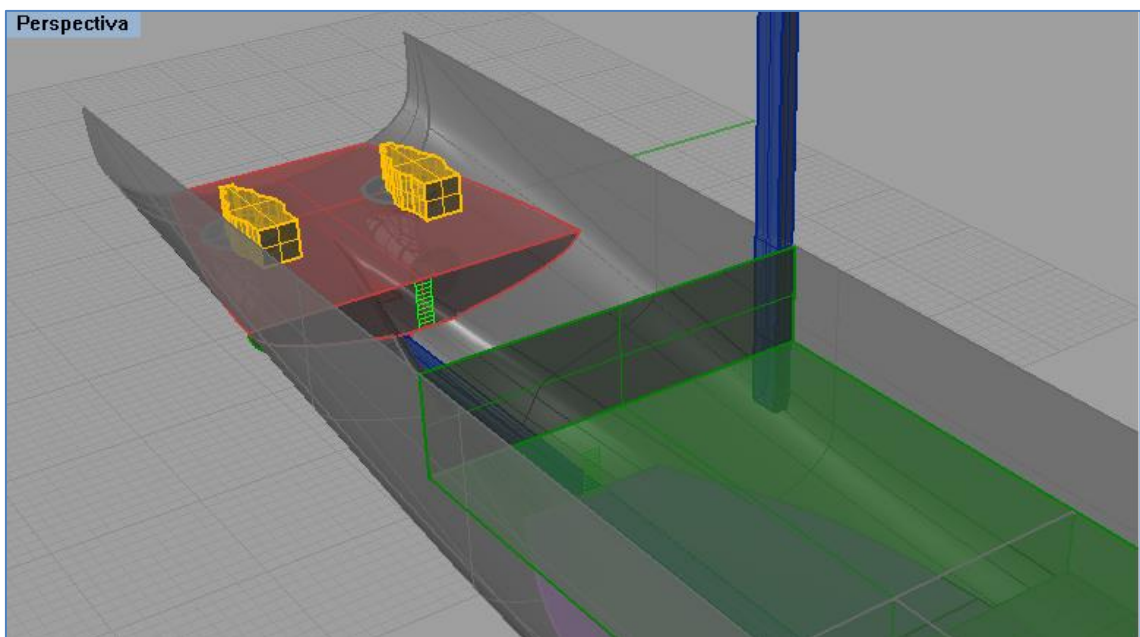


Figura 64: Longitud, puntal i mànega de la coberta on s'ubiquen els Azipods



**Figura 65: Comparació de la longitud i posició de la coberta dels Azipods respecte la popa**

Per ubicar els Azipods en l'altura i posició adequades per la hèlice s'han desplaçat tant popa que s'ha envaït part de la coberta principal (tot i que s'han inclinat  $4^\circ$  i s'han disminuït les dimensions tot el que el fabricant permet). Degut això la coberta principal es veu tallada per un increment en altura de la càmera de màquines, cosa que implica convertir la coberta tres en la nova coberta principal i que obliga a traslladar l'entrada dels vehicles cap als laterals o inclús a convertir la proa en abatible i realitzar l'admissió per allí (com en les figures 3 i 4):



**Figura 66: Modificació de la coberta 2, antiga coberta principal**

Una vegada instal·lats els Azipods es procedeix a instal·lar els motors, que segons els càlculs realitzats a l'apartat 4.4.2 eren 4, tot i que seguint de nou el criteri general en el cas dels motors – generadors en aquesta proposta propulsiva s'ha determinat que en base a criteris de manteniment i reparació d'una de les unitats en navegació, se'n instal·len cinc:

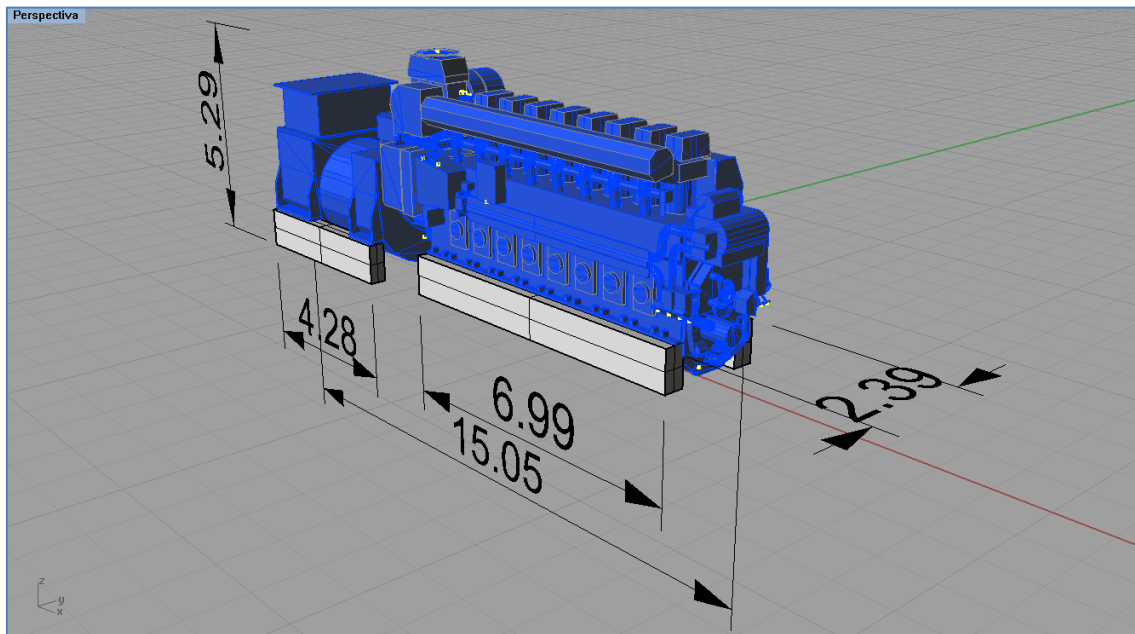


Figura 67: Perspectiva del motor amb el generador acoblat a la sortida de força (Font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com))  
(Nota: el model 3D utilitzat correspon a la versió de 8 cilindres, escalada a les dimensions del de 7)

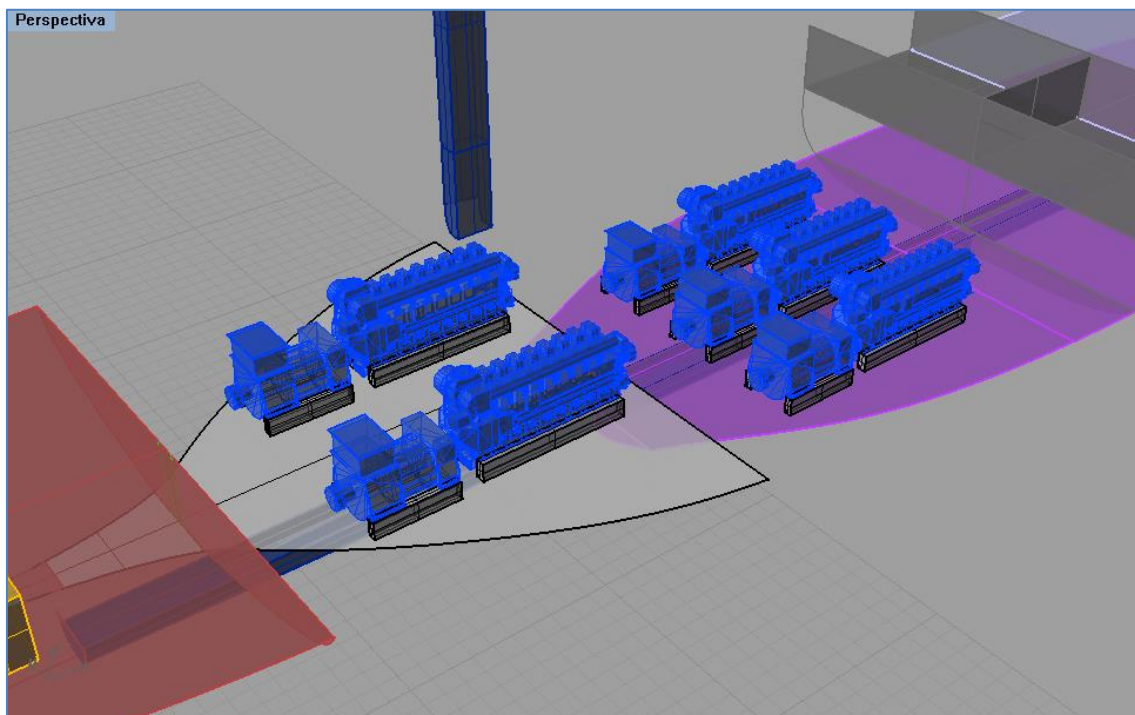
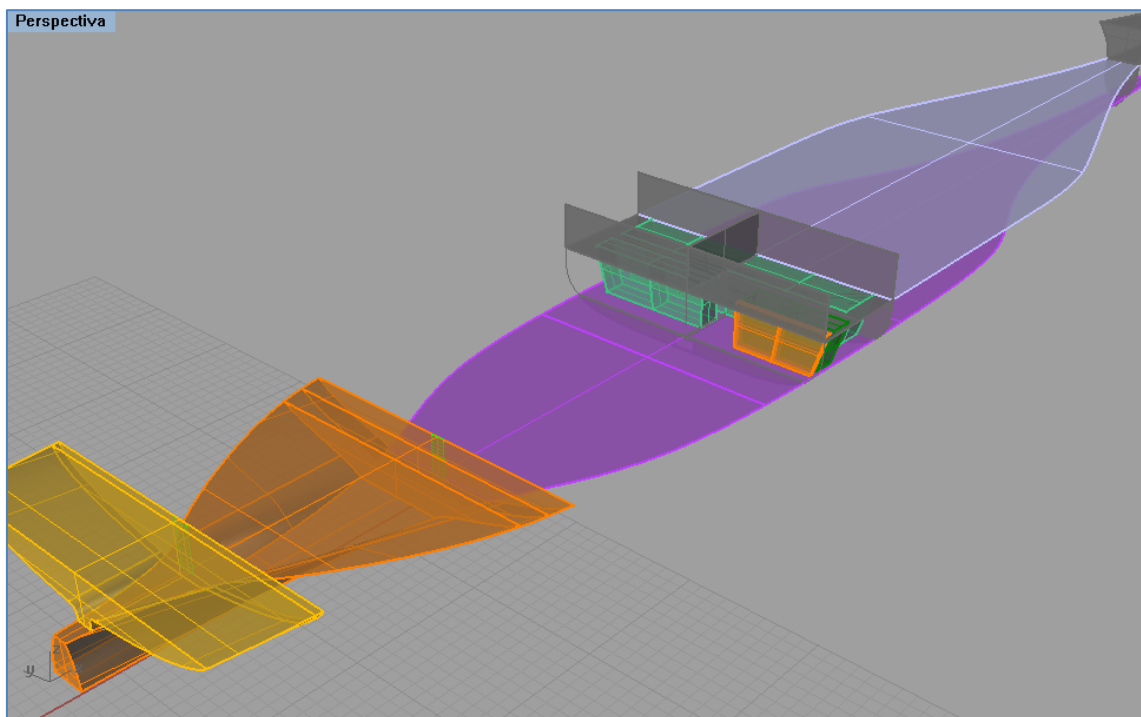
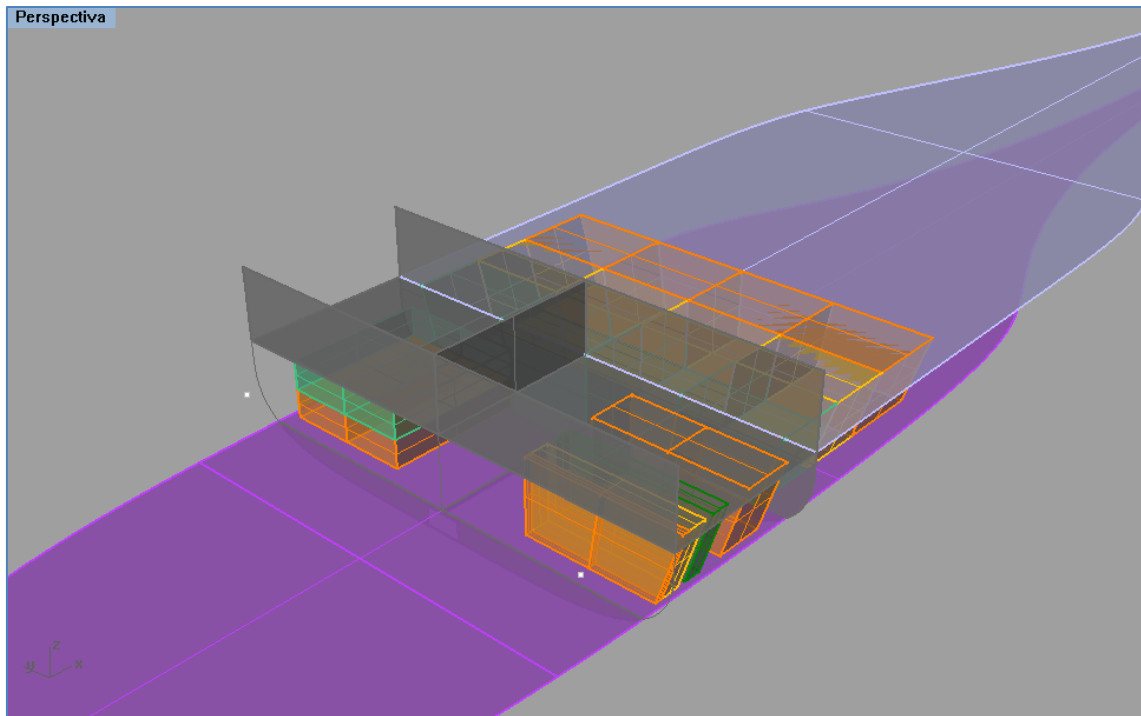


Figura 68: Perspectiva amb els motors – generadors en les diferents cobertes

### 5.2.2 Introducció dels tancs a la càmera de màquines

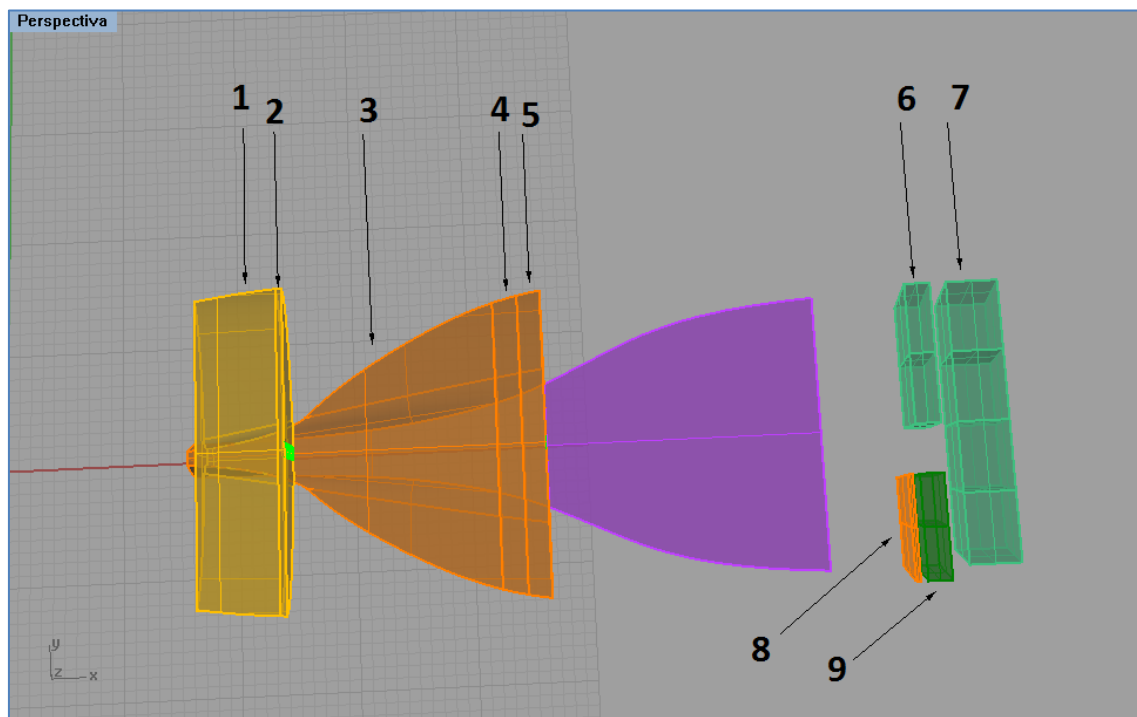
Una vegada determinada la ubicació dels sistemes generadors i els propulsors es procedirà a introduir els tancs calculats en l'apartat 4.4.3, resumits en la taula 20. En aquest sistema propulsiu es proposa traslladar part dels tancs que en el sistema convencional estaven al voltant de la sala de control i el taller cap a la zona dels Azipods (Figura 48).



**Figura 69 i 70: Comparativa dels espais reservats pels tancs en ambdues opcions**

En aquest sistema de propulsió s'han fet dos tipus de tancs, uns prioritant el caràcter constructiu (com en el cas del sistema convencional, formes cúbiques) i d'altres més complexes aprofitant les formes del casc, degut aquest increment del espai ocupat pels Azipods. Com en el cas anterior s'ha deixat el volum del doble fons reservat per a tancs de llast excepte el túnel de canonades citat per transvasament de fluids, entre d'altres.

Els tancs s'han insertat buscant un equilibri en estabilitat transversal, igualant els pesos en ambdues bandes i introduint-ne en el interior uns separadors amb la intenció de reduir en la mesura de lo possible l'efecte de las superfícies lliures. La distància mínima des dels extrems dels tancs 6 i 7 respecte el casc és de 1,70 m, mentre que la distància mínima dels tancs 8 i 9 respecte el casc és de 0,77 m.



**Figura 71: Reserva de tancs**

- |   |  |
|---|--|
| • <b>Nº 1: Tanc magatzem Dièsel – Oil</b>     | • <b>Nº 6: Tanc magatzem Aigua Destil·lada</b> |
| • <b>Nº 2: Tanc Servei Diari Dièsel – Oil</b> | • <b>Nº 7: Tanc magatzem Aigua Dolça</b>       |
| • <b>Nº 3: Tanc magatzem Fuel – Oil</b>       | • <b>Nº 8: Tanc Llots</b>                      |
| • <b>Nº 4: Tanc Decantació Fuel – Oil</b>     | • <b>Nº 9: Tanc d'oli Motors Principals</b>    |
| • <b>Nº 5: Tanc Servei Diari Fuel – Oil</b>   |  |

**Taula 25: Llegenda dels tancs inserits en la CM**



### 5.2.3 Delimitació del espai de màquines

L'espai destinat a la càmera de màquines modificada s'aprecia en les següents imatges:

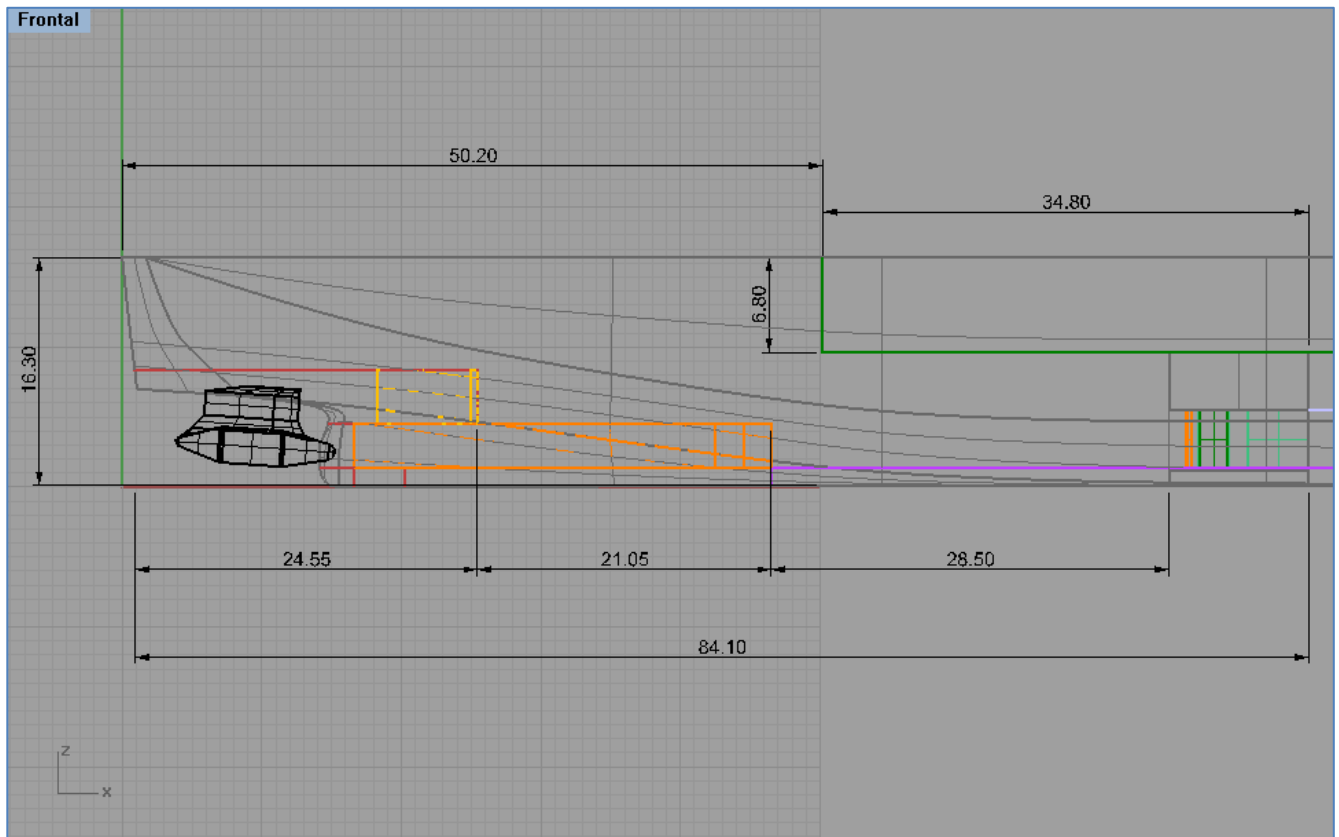


Figura 72: Imatge en perspectiva de la longitud i altura de la càmera de màquines

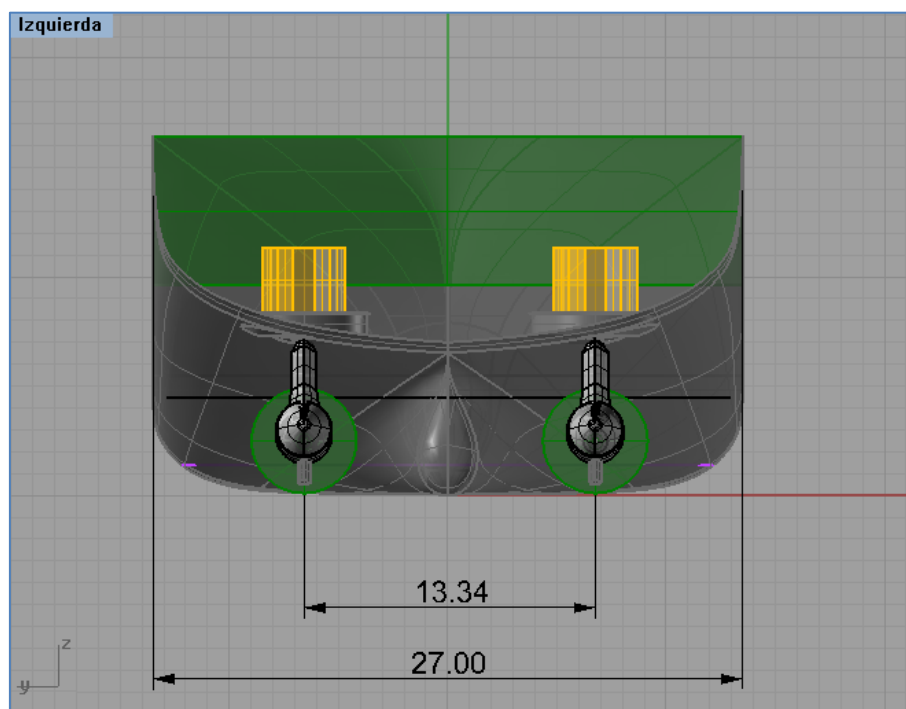
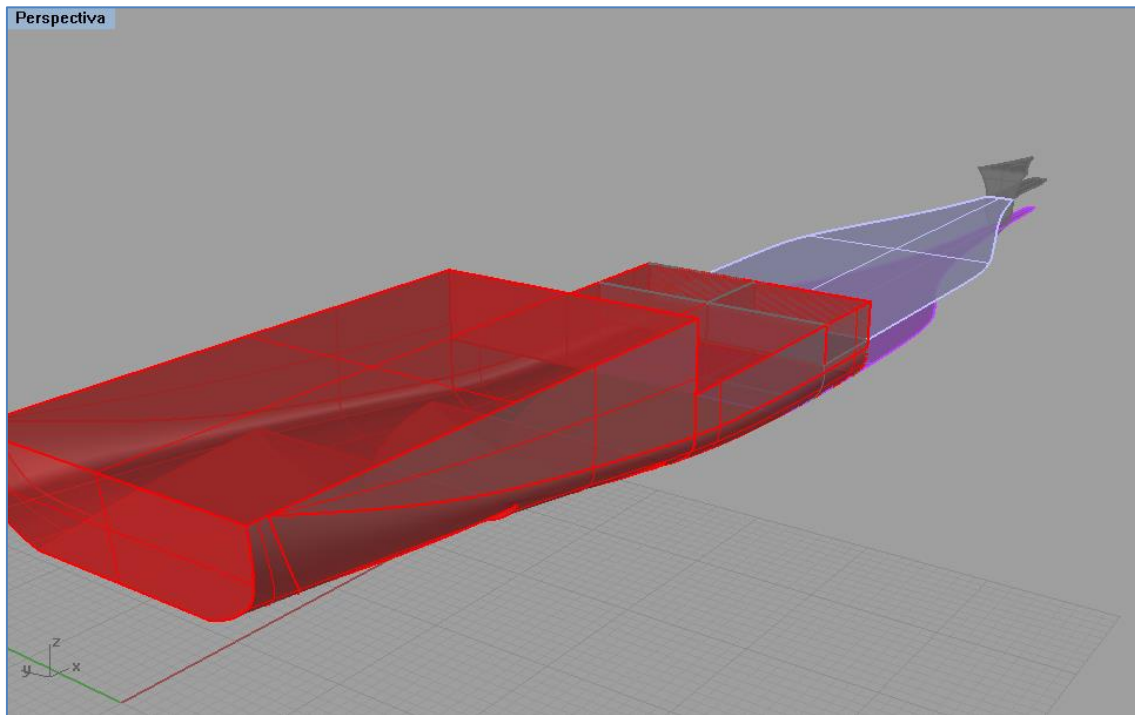


Figura 73: Vista des de popa de la càmera de màquines mesurant les mànegues



El volum total destinat a la càmera de màquines en aquest disseny està format per l'espai que va des del doble fons fins a la coberta principal (és a dir tres cobertes per sobre), sense incloure els tancs sota dels Azipods però si l'espai afegit de la coberta dos. Una vegada delimitat el volum s'ha convertit tot l'espai en una multisuperfície i s'ha mesurat el seu volum, a fi de calcular la quantitat d'aire que s'ha d'introduir en la càmera tant per renovar-lo:



**Figura 74: Volum corresponent als espais dedicats a la càmera de màquines**

Tenint en compte l'aire necessari estimat per alimentar i refrigerar els motors, el volum d'aire a introduir a la càmera de màquines serà:

$$\text{Consum d'aire dels 4 motors} = (16,6 \cdot 4) \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1,13 \text{ kg}} = 211.539,82 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Consum d'aire dels 2 compressors} = 2 \cdot 1\% \text{ de } 211.539,82 = 4.230,80 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Aire per evacuar el calor radiat dels motors} = 10\% \text{ de } 211.539,82 = 21.153,98 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

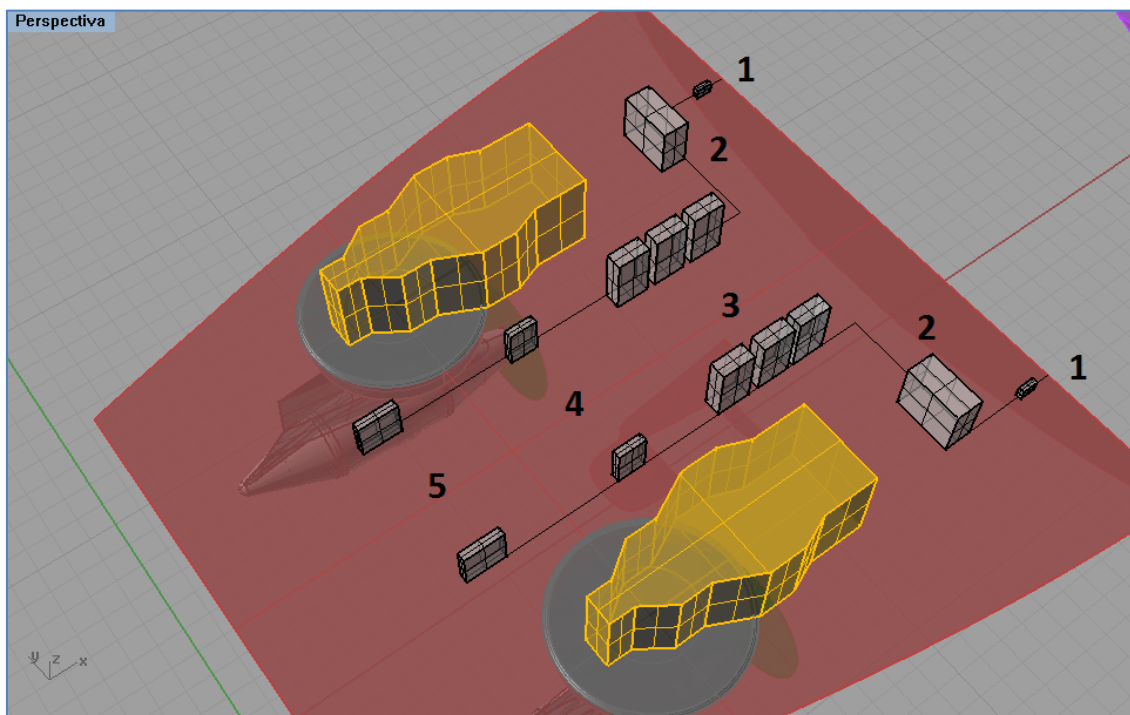
$$\text{Si el volum de la CM són } 20.841,5 \text{ m}^3 \text{ i es faran } 30 \frac{\text{renovacions}}{\text{h}} = 625.245,00 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{I que per tant sumen un total de } 862.169,60 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ a insertar en la càmera de màquines}$$

**Figura 75: Conjunt de càlculs per determinar el caudal d'aire a introduir en la CM**

#### 5.2.4 Introducció dels elements restants i reserva d'espais

Una vegada introduïts els elements principals de la propulsió s'han introduït una sèrie d'elements addicionals proposats pel fabricant que es requereixen per realitzar el control i la gestió dels l'Azipod, i que inclouen equips elèctrics i electrònics. En groc es destaquen els elements encarregats de refrigerar els motors elèctrics de l'Azipod i de permetre l'accés al personal de manteniment:



**Figura 76: Elements auxiliars de control i gestió de l'Azipod**

I on els seus identificadors es corresponen a:

Nom	Número	Eslora (m)	Mànega (m)	Puntal (m)
Unitat de Backup local (LBU)	1	0,600	0,210	0,380
Unitat suport de l'eix (SSU)	2	2,100	0,995	1,800
Unitats de direcció (SD) (x 3)	3	1,212	0,605	2,100
Unitat de control de la direcció (ESCU)	4	1,000	0,300	1,400
Unitat d'interfaç de l'Azipod (AIU)	5	1,400	0,300	1,400

**Taula 26: Referències dels elements de la Figura 75 (Font: [www.abb.com](http://www.abb.com))**

Aquí es mostra un exemple de com funcionarien aquests Azipods, rotant 30° a estribord:

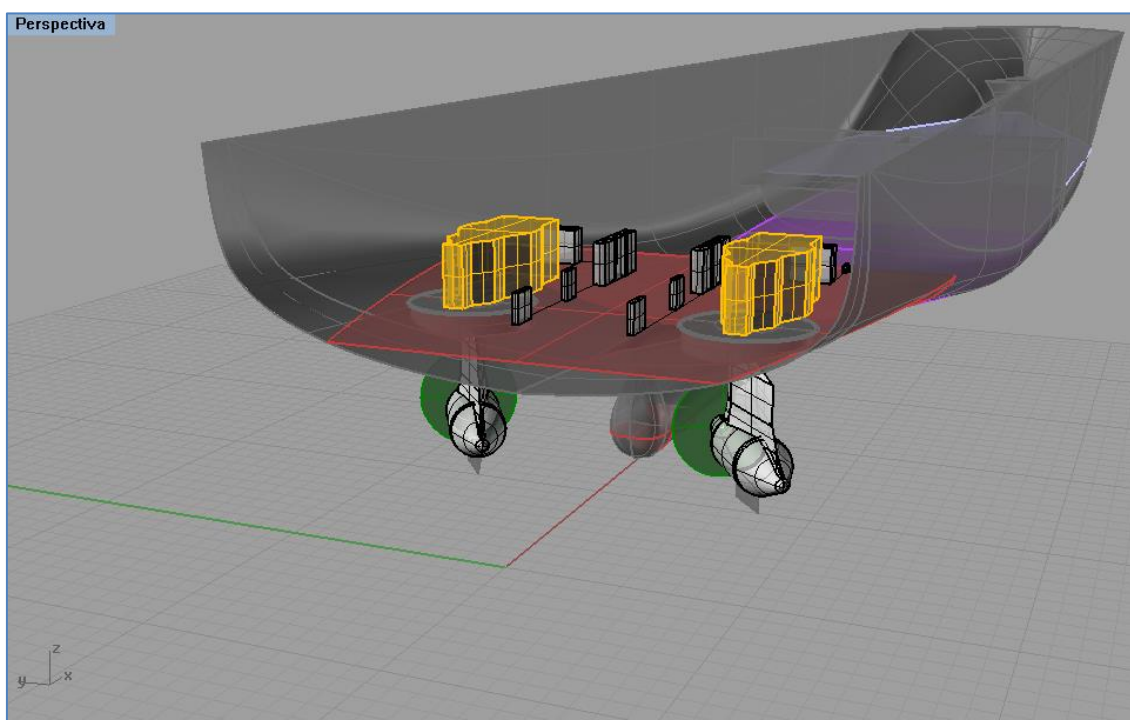


Figura 77: Exemple de rotació dels Azipods

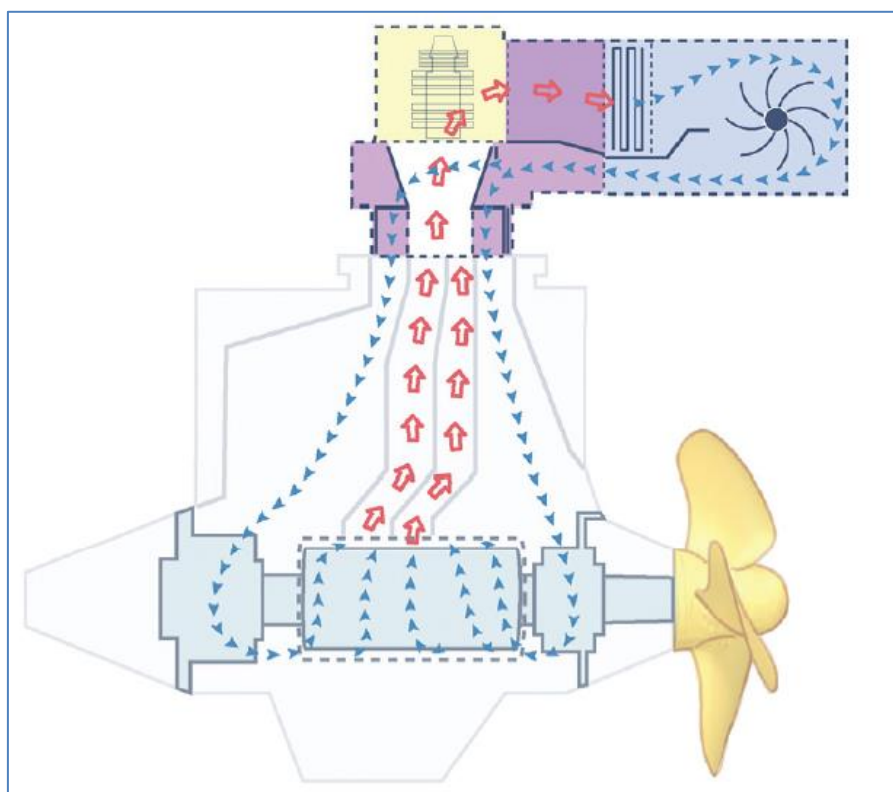
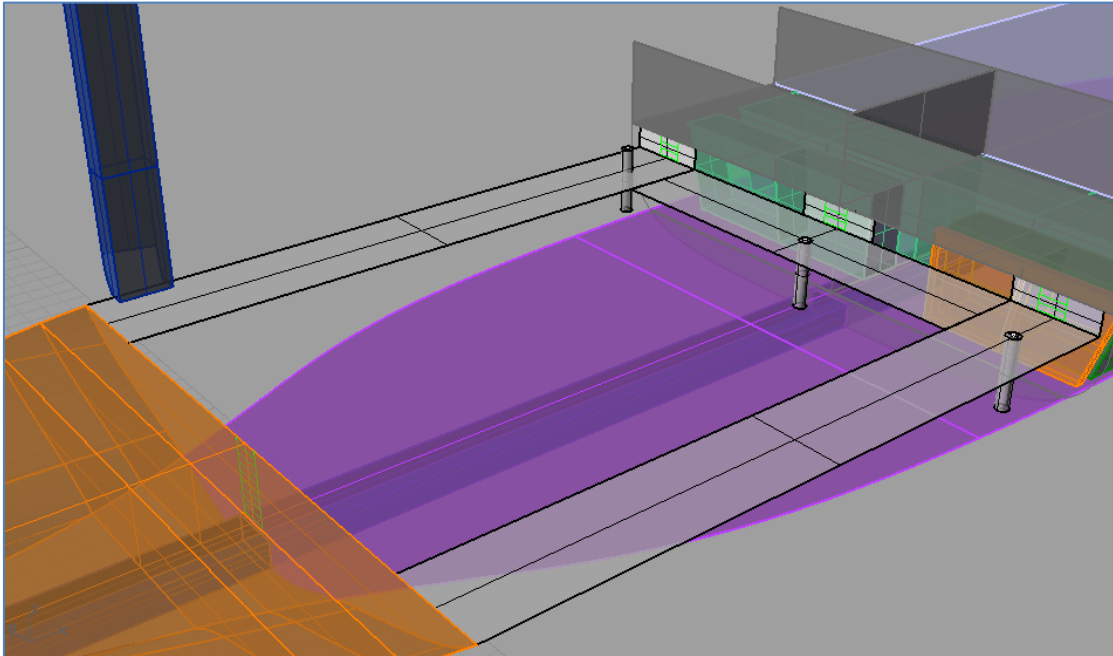
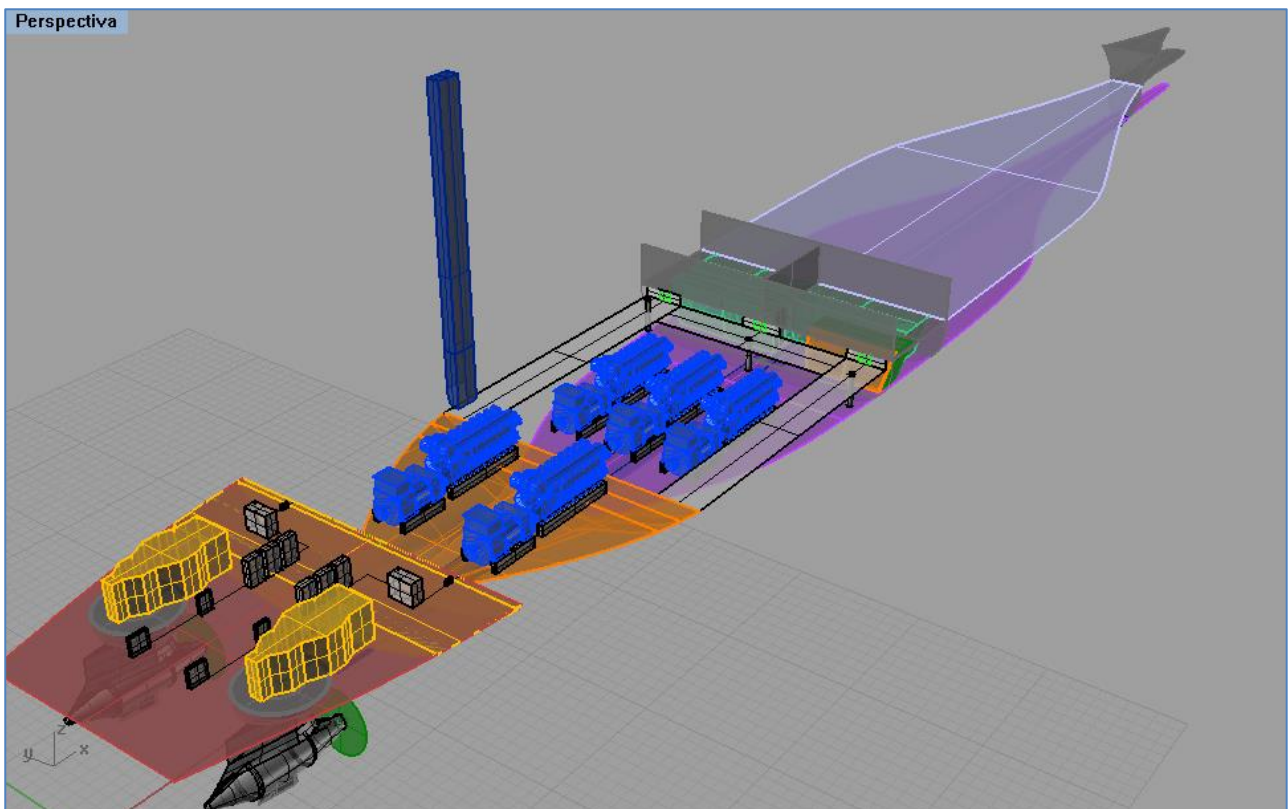


Figura 78: Sistema de refrigeració per ventilació forçada de l'Azipod (Font: [www.abb.com](http://www.abb.com))

En quant a la reserva d'espais s'han introduït com en la proposta anterior una sèrie de passarel·les per maximitzar l'espai disponible per bombes, filtres o separadores, que nos es dimensionaran en aquest projecte. Igualment s'ha representat la ubicació real de les escales, que es poden en les imatges següents:



**Figura 79: Representació de les cobertes i passarel·la afegides**



**Figura 80: Perspectiva final amb els elements inclosos en la CM**

### 5.2.5 Balanç de pesos dels equips introduïts

Una vegada introduïts els elements s'ha realitzat un balanç de pesos a forma de comparativa, que es pot veure de forma més completa en l'Annex 1. Com en el cas del balanç elèctric s'han considerat la major part dels elements comuns (ja que les potències consumides són relativament similars), i s'han comptabilitzat els pesos del sistema propulsiu, el sistema de generació elèctrica i el pes dels fluids dels tancs.

El pes corresponent als tancs s'ha calculat tenint en compte els densitats de cada fluid:

$$\begin{aligned} \text{Pes} &= \text{Volums de (HFO + Llots)} \cdot 1,01 + (\text{MFO + Olis}) \cdot 0,89 + (\text{Aigua}) \cdot 1 = \\ \text{Pes} &= (614,64 + 15,62) \cdot 1,01 + (375,54 + 68) \cdot 0,89 + 400 + 100 = 1.531,31 \text{ T} \end{aligned}$$

**Figura 81: Càlcul del pes dels tancs**

I el pes del sistema propulsiu:

$$\begin{aligned} \text{Pes Sist. Prop.} &= 2 \cdot (\text{Azipods} + \text{Sist. Aux.}) = 2 \cdot (140 + 65 + 5,44 + 8) = 436,88 \text{ T} \\ \text{Pes Sist. Gen.} &= 5 \cdot (\text{Generadors}) + \text{Motor Emergència} = 5 \cdot 126,00 + 3,32 = 633,32 \text{ T} \end{aligned}$$

**Figura 82: Càlcul del pes dels sistemes propulsius**

A continuació s'exposa el resum obtingut dels pesos:

TABLA CONJUNTA	
Elements	Pes Total (T)
Ventilació i Aire Condicionat	5,15
Tallers, ascensors y portes	17,60
Equips Auxiliars de Màquines	18,60
Serveis no continus	11,40
Serveis continus	3,20
Motors Dièsel – Generadors	633,32
Propulsió elèctrica	436,88
Volum dels tancs	1.531,31
<b>Total</b>	<b>2.657,46</b>

**Figura 83: Resum del balanç de pesos**

## 6. Conclusions

Una vegada obtingudes les distribucions de les càmeres de màquines per finalitzar aquest treball es farà una comparativa d'ambdós sistemes.

### 6.1. Sistema propulsiu:

	Sistema convencional	Sistema elèctric
<b>Sistema de càrrega / descàrrega</b>	Popa, lateral i/o proa	Lateral i/o proa
<b>Característiques del propulsor</b>	2 x Sèrie B4 – 30, D = 5'3 m, n = 214 rpm, H/D = 0'65, T = 598'96 kN i Q = 528'93 kN·m	2 x Sèrie B4 – 30, D = 4'8 m, n = 204 rpm, H/D = 0'74, T = 598'96 kN i Q = 452'88 kN·m
<b>Rendiment propulsiu</b>	$\eta_P = 0,507 \rightarrow \text{MCR} = 15.000 \text{ kW}$	$\eta_P = 0,630 \rightarrow \text{MCR} = 15.000 \text{ kW}$
<b>Relacions dels engranatges</b>	Reducció 1:2'65	Multiplicació 1:1'427
<b>Motors principals</b>	2 x Wärtsilä 12V46F (14.400kW), n = 568 rpm, Q = 205'78 kN·m	5 x Wärtsilä 7L46F (8.400kW), n = 545rpm, Q = 120'04 kN·m
<b>Equips addicionals</b>	3 x Wärtsilä 12V26 (3.746 kW), de generació elèctrica	2 x Azipods propulsió (13.400 kW), sistemes auxiliars de control

Taula 27: Comparativa dels sistemes propulsius

### 6.2. Tancs de consumibles i aire:

	Sistema convencional	Sistema elèctric
<b>Tanc Magatzem HFO</b>	557,84 m <sup>3</sup>	433,17 m <sup>3</sup>
<b>Tanc Decantació HFO</b>	111,34 m <sup>3</sup>	124,54 m <sup>3</sup>
<b>Tanc Servei Diari HFO</b>	111,34 m <sup>3</sup>	124,54 m <sup>3</sup>
<b>Tanc llots</b>	13,99 m <sup>3</sup>	15,62 m <sup>3</sup>
<b>Tanc magatzem MFO</b>	412,02 m <sup>3</sup>	369,74 m <sup>3</sup>
<b>Tanc Servei Diari MFO</b>	36,39 m <sup>3</sup>	47,11 m <sup>3</sup>
<b>Tancs magatzem olis</b>	34 + 10,6 m <sup>3</sup>	68 m <sup>3</sup>
<b>Tanc aigües tècnica i destil·lada</b>	400 + 100 m <sup>3</sup>	400 + 100 m <sup>3</sup>
<b>Aire / hora</b>	580.436, 75 m <sup>3</sup> /h	862.169,60 m <sup>3</sup> /h

Taula 28: Comparativa dels tancs de consumibles



### 6.3. Pes dels equips:

	Sistema convencional	Sistema elèctric
<b>Pes dels equips comuns</b>	55,95 T	55,95 T
<b>Sistema generació elèctrica</b>	187,77 T	633,32 T
<b>Sistema propulsiu</b>	548,50 T	436,88 T
<b>Pes dels tancs</b>	1.648,01 T	1.531,31 T
<b>Total</b>	2.440,23 T	2.657,46 T

**Taula 29: Comparativa del pes dels equips**

Llegint les taules es pot extreure directament que en la disposició proposada el sistema elèctric és 217,23 tones més pesat, ja que tot i que tant el sistema propulsiu com el volum dels tancs són més lleugers, el sistema generador d'energia elèctrica anul·la i sobrepassa aquesta diferència. Un altre de les conclusions que es pot extreure és que degut a la disposició de les formes del vaixell s'ha de sacrificar una part de la coberta dos del vaixell per ubicar-hi amb seguretat els sistemes Azipod, anul·lant la possibilitat d'entrar els vehicles per la popa i forçant a reubicar-ho en comportes laterals o portalons de proa.

En el cas del sistema propulsiu s'han d'extreure tenint en compte que la diferència dels consums de combustible i per tant el volum dels tancs, està directament relacionada amb el rendiment propulsiu. En el cas del sistema elèctric s'ha aconseguit trobar una hèlice que dona un rendiment bastant elevat i que permet obtenir un rendiment propulsiu alt, però en el cas del sistema convencional aquests rendiments no han estat tant satisfactoris.

Existeixen dos conclusions degut aquesta situació: la primera és que pot semblar que el sistema elèctric és més eficient i consumeix menys energia, però això depèn del sistema propulsiu i per tant no es pot afirmar que és així sempre o en general; el que sí aporta clarament l'ús d'aquests sistema és una elevada maniobrabilitat per molt en el sistema convencional s'utilitzin hèlices de pas controlable. No obstant, l'aplicació del segon sistema requereix l'instal·lació de la multiplicadora, concepte que s'ha de tenir en compte.

La segona conclusió és que els valors dels rendiments propulsius obtinguts s'han realitzat mitjançant estimacions i l'ús de sèries sistemàtiques, pel que per obtenir els reals es necessitaria realitzar estudis amb CFD i calcular la hèlice mitjançant el càlcul directe adequant-la a les esteles del flux d'aigua que arriba a la hèlice. No s'ha contemplat modificar les formes pel rendiment, el càlcul de la resistència dels apèndixs, la maniobrabilitat o els timons.

Finalment per acabar aquestes conclusions, s'ha de tenir en compte que no s'han calculat una sèrie d'elements necessaris en una sala de màquines, com per exemple els quadres de distribució elèctrica, les bombes, els filtres o les calderes de generació d'aigua calenta tant sanitària com d'ús de caràcter tècnic, o pressupostos. Com s'ha vist en els punts anteriors s'ha estimat per tenir un valor amb el que començar i s'han utilitzat treballs i vaixells similars per d'alguna manera intentar treballar i iterar sobre uns fonaments relativament sòlids. S'ha relatat en qualsevol manera que s'ha disposat d'un espai físic per col·locar-los en un futur així com marges suficients en quasi tots els càlculs, per permetre l'absorció d'una ampliació o modificació dels elements dimensionats i ubicats. Per exemple l'estructura del casc admet l'ampliació del volum dels tancs disponible en el cas de ser insuficient.

En qualsevol cas s'ha intentat mantenir al màxim possible el número de elements comuns per permetre que durant l'anàlisi aquest fos el més equitatiu possible, partint d'un balanç elèctric i de pesos bessons excepte sobretot en el cas del sistema propulsiu. Si bé es possible que un anàlisi més profund de la hidrodinàmica i un canvi de les distribucions de les formes podrien haver donat millors resultats, l'objectiu principal d'aquest treball era, d'una forma aproximada i bastant gràfica, fer una comparativa dels dos sistemes propulsius, amb una breu descripció de les seves característiques pròpies.

## 7. Agraïments

---

Ja per acabar, ara sí aquest Treball de Final de Carrera amb el que s'acaba no només aquesta Diplomatura si no que també aquesta primera etapa a la Facultat de Nàutica de Barcelona, voldria recordar i agrair la participació d'algunes de les persones que m'han acompanyat. Recordar el suport constant de la família, l'aportació de companys com Núria, Quesada, Ferran, Arantxa, Pablo i Oleguer, Víctor, Rodela, Peral, Juan i Garcés, Azón i Closa, entre d'altres. No em puc oblidar tampoc de Luisa (i família), Mar (i família), Lúcia (i família) i Eli, Carol i Irene, ni de Diego, Miki, Xavi, Miquel i Bretos.

En el que respecta a la institució, recordo el suport i dedicació de Joaquim Blesa, les lliçons que vaig aprendre de Vicente Sáenz i l'atenció rebuda per part de Ramon Grau, Jordi Torralbo, Juan Antonio Moreno i el servei de gestió acadèmica de la Facultat.

A tots i tothom, gràcies.



## 8. Índex de figures

Figura 1: Portalons d'entrada per popa del Sorolla (Font: <a href="http://www.trasmeships.es">www.trasmeships.es</a> ).....	5
Figura 2: Escotilla de càrrega i accés abatible (Font: <a href="http://www.trasmeships.es">www.trasmeships.es</a> ).....	5
Figura 3: Escotilles d'accés lateral de la càrrega (Font: <a href="http://www.mundoexportar.com">www.mundoexportar.com</a> ) .....	6
Figura 4: Entrada de la càrrega rodada per proa (Font: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).....	6
Figura 5: Ruta Huelva – Las Palmas – Tenerife (Font: <a href="http://www.maps.google.com">www.maps.google.com</a> ) .....	7
Figura 6: Ruta Santander – Portsmouth (Font: <a href="http://www.maps.google.com">www.maps.google.com</a> ) .....	8
Figura 7: Fórmules utilitzades (Font: Proyecto Básico del Buque Mercante) .....	9
Figura 8: Comparativa Eslora total – Desplaçament.....	10
Figura 9: Comparativa de Eslora total amb la Mànega i el Calat.....	10
Figura 10: Comparativa Eslora total – Cb.....	10
Figura 11: Comparativa de la Eslora total amb el número de turismes i vehicles.....	11
Figura 12: Perspectiva del model base utilitzat en Maxsurf .....	12
Figura 13: A l'esquerra vista de la preparació de la popa i la dreta la finestra d'escala .....	13
Figura 14: Finestra de definició de la parametrització.....	13
Figura 15: Valors i corba de potencia inicials corresponents a 23 nusos obtinguts amb Hullspeed.....	14
Figura 16: Relació entre EHP i BHP i fórmula (Font: Apunts assignatura Fon. Constr. Naval i Propulsors i <a href="http://www.cehipar.es/publicació122">http://www.cehipar.es/publicació122</a> ) .....	15
Figura 17: Descomposició i obtenció dels rendiments (Font Hamburg: <a href="http://www.hsva.de/">http://www.hsva.de/</a> ) .	19
Figura 18: Distància entre eixos i respecte cossia .....	19
Figura 19: Corba de potencia del motor escollit per un cilindre (Font: <a href="http://www.wartsila.com">www.wartsila.com</a> ) .....	20
Figura 20: Diferents diàmetres d'hèlice proposats.....	21
Figura 21: Fórmules utilitzades per entrar a les corbes Kt- Kq (Font Keller i Holtrop: <a href="http://ocw.mit.edu">http://ocw.mit.edu</a> ).....	22
Figura 22: Corbes Kt – J – Kq, B4 – 30 (Font: Publication 237, University of Michigan) .....	22
Figura 23: Corba Kt - J - Kq amb els valors obtinguts a 214 rpm .....	23
Figura 24: Potència obtinguda amb el rendiment propulsiu de 0,508 .....	24
Figura 25: Selecció de la reductora Wärtsilä (Font: <a href="http://www.wartsila.com">www.wartsila.com</a> ).....	25
Figura 26: Volum del tancs de HFO (Font Ilots: <a href="http://www.imo.org">http://www.imo.org</a> ) .....	26
Figura 27: Volum del tancs de MFO.....	27
Figura 28: Volum de la resta dels tancs .....	27
Figura 29: Corba de potències - revolucions pels Azipods (Font: <a href="http://www.abb.com">www.abb.com</a> ) .....	28
Figura 30: Fórmules utilitzades per entrar a les corbes Kt- Kq.....	29
Figura 31: Corbes Kt – J – Kq, B4 – 30 (Font: Publication 237, University of Michigan) .....	29
Figura 32: Gràfica amb els valors definitius .....	30
Figura 33: Iteracions realitzades a les corbes Kt – J – Kq amb $A_e/A_o = 0,30$ .....	31
Figura 34: Potència obtinguda amb el rendiment propulsiu de 0,547 (Font Keller i Holtrop: <a href="http://ocw.mit.edu">http://ocw.mit.edu</a> ).....	31
Figura 35: Zona de funcionament problemàtica de l'Azipod .....	32
Figura 36: Relacions obtingudes aplicant la multiplicadora.....	32
Figura 37: Volum del tancs de HFO (Font Ilots: <a href="http://www.imo.org">http://www.imo.org</a> ) .....	35
Figura 38: Volum del tancs de MFO.....	35
Figura 39: Volum de la resta dels tancs .....	36

Figura 40: Imatge del Sorolla de Trasmediterrànea (Font base: <a href="http://www.trasmeships.es">http://www.trasmeships.es</a> ) ..	37
Figura 41: Imatge longitudinal del model 3D del ferri .....	37
Figura 42: Cotes de les cobertes previstes per al ferri .....	38
Figura 43: Imatge en perspectiva i semitransparència del ferri .....	39
Figura 44: Imatge en perspectiva de les cobertes sense el casc .....	39
Figura 45: Fórmules per obtenir els diàmetres dels eixos (Font: <a href="http://www.dnvgl.com">www.dnvgl.com</a> ) .....	40
Figura 46: Cotes del motor principal amb la reductora i els suports (Font: <a href="http://www.wartsila.com">www.wartsila.com</a> )	41
Figura 47: Longitud dels eixos, des del motor a la hèlice passant per la reductora .....	41
Figura 48: Perspectiva amb el conjunt hèlice, eix, reductora i motor integrats en el casc .....	42
Figura 49: Perspectiva on s'aprecia el desnivell i els dos pous corresponents als motors .....	42
Figura 50: Espais reservats de forma icònica mitjançant cubs de colors .....	43
Figura 51: Reserva de tancs .....	44
Figura 52: Imatge en perspectiva de la longitud i altura de la càmera de màquines .....	45
Figura 53: Vista des de popa de la càmera de màquines mesurant les mànegues .....	45
Figura 54: Volum corresponent als espais dedicats a la càmera de màquines .....	46
Figura 55: Conjunt de càlculs per determinar el caudal d'aire a introduir en la CM .....	46
Figura 56: Cotes del motor auxiliar, els alternadors i els suports (Font: <a href="http://www.wartsila.com">www.wartsila.com</a> ) ....	47
Figura 57: Ubicació dels motors auxiliars en la coberta intermèdia, per sobre dels principals ..	47
Figura 58: Representació de les cobertes i passarel·la afegides .....	48
Figura 59: Perspectiva final amb els elements inclosos en la CM .....	48
Figura 60: Càlcul del pes dels tancs .....	49
Figura 61: Càlcul del pes del sistema propulsiu i generació elèctrica .....	49
Figura 62: Fórmules per obtenir els diàmetres dels eixos (Font: <a href="http://www.dnvgl.com">www.dnvgl.com</a> ) .....	50
Figura 63: Cotes d'un dels Azipods (Font de les dimensions: <a href="http://www.abb.com">www.abb.com</a> ) .....	51
Figura 64: Longitud, puntal i mànega de la coberta on s'ubiquen els Azipods .....	51
Figura 65: Comparació de la longitud i posició de la coberta dels Azipods respecte la popa .....	52
Figura 66: Modificació de la coberta 2, antiga coberta principal .....	52
Figura 67: Perspectiva del motor amb el generador acoblat a la sortida de força (Font: <a href="http://www.wartsila.com">www.wartsila.com</a> ) (Nota: el model 3D utilitzat correspon a la versió de 8 cilindres, escalada a les dimensions del de 7) .....	53
Figura 68: Perspectiva amb els motors – generadors en les diferents cobertes .....	53
Figura 69 i 70: Comparativa dels espais reservats pels tancs en ambdues opcions .....	54
Figura 71: Reserva de tancs .....	55
Figura 72: Imatge en perspectiva de la longitud i altura de la càmera de màquines .....	56
Figura 73: Vista des de popa de la càmera de màquines mesurant les mànegues .....	56
Figura 74: Volum corresponent als espais dedicats a la càmera de màquines .....	57
Figura 75: Conjunt de càlculs per determinar el caudal d'aire a introduir en la CM .....	57
Figura 76: Elements auxiliars de control i gestió de l'Azipod .....	58
Figura 77: Exemple de rotació dels Azipods .....	59
Figura 78: Sistema de refrigeració per ventilació forçada de l'Azipod (Font: <a href="http://www.abb.com">www.abb.com</a> ) ....	59
Figura 79: Representació de les cobertes i passarel·la afegides .....	60
Figura 80: Perspectiva final amb els elements inclosos en la CM .....	60
Figura 81: Càlcul del pes dels tancs .....	61
Figura 82: Càlcul del pes dels sistemes propulsius .....	61
Figura 83: Resum del balanç de pesos .....	61

## 9. Índex de Taules

Taula 1: Característiques i dimensions generals dels quatre vaixells de les rutes previstes (Fonts <a href="http://www.brittanyferries.es">http://www.brittanyferries.es</a> i <a href="http://www.trasmediterranea.es/">http://www.trasmediterranea.es/</a> ) .....	9
Taula 2: Resultats obtinguts mitjançant les línies de tendència .....	11
Taula 3: Característiques del model base .....	12
Taula 4: Comparació de les dimensions .....	14
Taula 5: Valors obtinguts i limitacions de Holtrop .....	14
Taula 6: Resum del balanç elèctric del vaixell .....	17
Taula 7: Balanç d'emergència .....	18
Taula 8: Característiques del motor d'emergència (Font: <a href="http://www.volvopenta.com">http://www.volvopenta.com</a> ) .....	18
Taula 9: Iteracions realitzades per obtenir el par similar al que surt de la reductora .....	23
Taula 10: Comparativa de possibles motors .....	24
Taula 11: Característiques dels motors principals (Font: <a href="http://www.wartsila.com">www.wartsila.com</a> ) .....	24
Taula 12: Comparativa dels motors auxiliars en les situacions de màxima càrrega .....	25
Taula 13: Comparativa dels motors auxiliars en les diferents situacions .....	25
Taula 14: Característiques dels motors auxiliars (Font: <a href="http://www.wartsila.com">www.wartsila.com</a> ) .....	26
Taula 15: Resum dels volums dels tancs obtinguts .....	27
Taula 16: Iteracions realitzades per obtenir el conjunt hèlice – motor .....	30
Taula 17: Comparativa de possibles motors generadors .....	33
Taula 18: Comparativa dels motors generadors preseleccionats en la Taula 16 .....	34
Taula 19: Característiques dels motors auxiliars (Font: <a href="http://www.wartsila.com">www.wartsila.com</a> ) .....	34
Taula 20: Resum dels volums dels tancs obtinguts .....	36
Taula 21: Diàmetres obtinguts amb les fórmules de la Figura 41 .....	40
Taula 22: Llegenda dels tancs inserits en la CM .....	44
Taula 23: Resum del balanç de pesos .....	49
Taula 24: Diàmetres obtinguts amb les fórmules de la Figura 63 .....	50
Taula 25: Llegenda dels tancs inserits en la CM .....	55
Taula 26: Referències dels elements de la Figura 75 (Font: <a href="http://www.abb.com">www.abb.com</a> ) .....	58
Taula 27: Comparativa dels sistemes propulsius .....	62
Taula 28: Comparativa dels tancs de consumibles .....	62
Taula 29: Comparativa del pes dels equips .....	63

## 10. Bibliografia

### Llibres i documents consultats:

- Apunts assignatura Fonaments de la Construcció Naval i Propulsors (Q3 curs 2010 – 2011), de Adrián Prada Sevilla i Vicente Sáenz Marín. Consultat l'Abril i Maig 2014.
- “Estudio de la planta de generación de energía eléctrica de un buque Ro-Ro de 750 Pax”, de Begoña Repeto Durán (Universidad de Cádiz). Consultat durant Abril de 2014.
- “Proyecto Básico del Buque Mercante” de Ricardo Alvariño Castro, Juan José Azpíroz Azpíroz i Manuel Meizoso Fernández. Fondo Editorial de Ingeniería Naval del Colegio oficial de Ingenieros Navales. Consultat durant Març i Abril de 2014.
- Publication 237 Kt, Kq and Efficiency Curves for the Wageningen B – Series Propellers, by M.M. Bernitsas, D. Day, P Kinley, de la University of Michigan. Consultat l'Abril i Maig 2014.

### Webs consultats:

- <http://www.abb.com> (Consultat l'Abril de 2014)
- <http://www.brittanyferries.es> (Consultat el Març de 2014)
- <http://www.cehipar.es> (Consultat l'Abril de 2014)
- <http://www.dnvgl.com> (Consultat de Març a Maig de 2014)
- <http://www.hsva.de> (Consultat l'Abril de 2014)
- <http://www.imo.org> (Consultat el Maig de 2014)
- <http://www.maps.google.com> (Consultat el Març de 2014).
- <http://www.marinetraffic.com> (Consultat el Març de 2014)
- <http://www.mundoexportar.com> (Consultat el Juny de 2014)
- <http://ocw.mit.edu> (Consultat l'Abril de 2014)
- <http://www.trasmeships.es> (Consultat de Març a Maig de 2014)
- <http://www.volvopenta.com> (Consultat d'Abril a Maig de 2014)
- <http://www.wartsila.com> (Consultat de d'Abril a Maig de 2014)
- <http://www.wikipedia.org> (Consultat de Març a Juny de 2014)

### Programari utilitzat:

- Pack de software de Maxsurf i Rhinoceros 4.0
- Pack de software Office de Microsoft, Microsoft Word i Microsoft Excel (Windows 7)
- Mozilla Firefox i Google Earth

# 11. Annexos

---

Annex 1:

- 1) 11.1.1 Balanç Elèctric
- 2) 11.1.2 Balanç pesos Convencional
- 3) 11.1.3. Balanç pesos Elèctric

Annex 2:

- 1) 11.2.1 Informació general dels motors
- 2) 11.2.2 Captures de pantalla finals

## **Annex 1**

### **11.1.1 Balanç Elèctric**

# Anexe 11.1.1

Maniobra					Navegació dia		Maniobra		Càrrega / Descàrrega		Repòs		Navegació nit	
Descripció de l'element	Nº unitats	Pot. Unit	Kn	Total	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW
Molinet	2	72,8	0,500	145,60	0,0	0,00	0,3	21,84	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Gigres Maniobra	6	40,0	1,000	240,00	0,0	0,00	0,8	192,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Pescants bots salvament	4	15,6	1,000	62,40	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Hèlices transversals	2	1.100,0	1,000	2.200,00	0,2	440,00	0,8	1.760,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,2	440,00
Bombes estabilitzadors	2	16,0	1,000	32,00	0,6	19,20	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,6	19,20
Bombes servomotors	3	7,5	0,667	22,50	0,4	6,00	0,6	9,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,4	6,00
<b>Total</b>				2.702,50		465,20		1.982,84		0,00		0,00		465,20

Cuines, salons, bugaderia					Navegació dia		Maniobra		Càrrega / Descàrrega		Repòs		Navegació nit	
Descripció de l'element	Nº unitats	Pot. Unit	Kn	Total	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW
Vitrocèramica	2	100,0	1,000	200,00	0,7	140,00	0,2	40,00	0,2	40,00	0,1	20,00	0,1	20,00
Rentaplats	2	30,0	0,500	60,00	0,7	21,00	0,2	6,00	0,2	6,00	0,1	3,00	0,3	9,00
Forns	2	40,0	0,500	80,00	0,7	28,00	0,2	8,00	0,2	8,00	0,1	4,00	0,1	4,00
Calentaplats autoservei	2	12,0	1,000	24,00	0,6	14,40	0,5	12,00	0,5	12,00	0,1	2,40	0	0,00
Calentadors	3	8,0	1,000	24,00	0,6	14,40	0,6	14,40	0,6	14,40	0,2	4,80	0,1	2,40
Electrodomèstics petits	2	10,0	1,000	20,00	0,7	14,00	0,3	6,00	0,3	6,00	0,1	2,00	0,1	2,00
Càmeres refrigerades	4	320,0	1,000	1.280,00	1,0	1.280,00	1,0	1.280,00	1	1.280,00	1	1.280,00	1,0	1.280,00
Bugaderia	1	10,0	1,000	10,00	0,4	4,00	0,2	2,00	0,2	2,00	0,1	1,00	0,4	4,00
Aparells de cuina i trituradores	1	30,0	1,000	30,00	0,6	18,00	0,2	6,00	0,2	6,00	0,1	3,00	0,1	3,00
Frigorífics en camarots	1	16,0	1,000	16,00	1	16,00	1	16,00	1	16,00	1	16,00	1	16,00
Equips electrònics per a l'oci	1	15,0	1,000	15,00	1	15,00	0,6	9,00	0,5	7,50	0,1	1,50	0,2	3,00
<b>Total</b>				1.759,00		1.566,05		1.399,15		1.397,65		1.337,45		1.343,65

Equips de navegació					Navegació dia		Maniobra		Càrrega / Descàrrega		Repòs		Navegació nit	
Descripció de l'element	Nº unitats	Pot. Unit	Kn	Total	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW
Suports a la navegació	1	3,0	1,000	3,00	0,7	2,10	0,8	2,40	0	0,00	0,0	0,00	0,7	2,10
Giroscopis	1	2,5	1,000	2,50	0,7	1,75	0,2	0,50	0,2	0,50	0,0	0,00	0,7	1,75
Comunicacions internes	1	4,0	1,000	4,00	0,4	1,60	0,8	3,20	0,8	3,20	0,1	0,40	0,1	0,40
Radio	1	6,0	1,000	6,00	0,3	1,80	0,7	4,20	0,5	3,00	0,1	0,60	0,3	1,80
RADAR	1	3,0	1,000	3,00	0,7	2,10	0,3	0,90	0,3	0,90	0,0	0,00	0,7	2,10
<b>Total</b>				18,50		9,35		11,20		7,60		1,00		8,15

Ventilació i A/A					Navegació dia		Maniobra		Càrrega / Descàrrega		Repòs		Navegació nit	
Descripció de l'element	Nº unitats	Pot. Unit	Kn	Total	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW
Compressors A/C	3	190,0	0,667	570,00	0,9	342,00	0,9	342,00	0,6	228,00	0,4	152,00	0,9	342,00
Equips auxiliars A/C	3	115,0	0,667	345,00	0,9	207,00	0,9	207,00	0,6	138,00	0,4	92,00	0,9	207,00
Ventilació CM	4	80,0	1,000	320,00	1,0	320,00	1,0	320,00	1,0	320,00	0,3	96,00	1,0	320,00
Ventilació Càrrega	15	120,0	1,000	1.800,00	0,6	1.080,00	0,3	540,00	1,0	1.800,00	0,1	180,00	0,6	1.080,00
Ventilació Passatge i Tripulació	18	24,0	1,000	432,00	1,0	432,00	1,0	432,00	1,0	432,00	0,6	259,20	0,9	388,80
Ventilació maquinària i altres	12	15,0	1,000	180,00	1,0	180,00	1,0	180,00	1,0	180,00	0,4	72,00	1,0	180,00
<b>Total</b>				3.645,00		2.559,00		2.019,00		3.098,00		710,00		2.516,00

### Anexe 11.1.1

Tallers i equips					Navegació dia		Maniobra		Càrrega / Descàrrega		Repòs		Navegació nit	
Descripció de l'element	Nº unitats	Pot. Unit	Kn	Total	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW
Ascensors y muntacàrregues	4	60,0	1,000	240,00	0,3	72,00	0,3	72,00	1,0	240,00	0,1	24,00	0,1	24,00
Equips portes estanques	1	20,0	1,000	20,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,8	16,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Portalons	2	18,4	1,000	36,80	0,0	0,00	0,0	0,00	0,7	25,76	0,0	0,00	0,0	0,00
Equips taller	4	5,0	0,750	20,00	0,3	4,50	0,0	0,00	0,1	1,50	0,1	1,50	0,1	1,50
Polispastos MMPP	4	12,0	0,250	48,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Altres elements	1	10,0	1,000	10,00	0,5	5,00	0,5	5,00	0,5	5,00	0,1	1,00	0,3	3,00
Preses Tràilers frigorífics	65	15,0	1,000	975,00	1,0	975,00	1,0	975,00	0,8	780,00	0,0	0,00	1,0	975,00
<b>Total</b>				1.349,80		1.056,50		1.052,00		1.068,26		26,50		1.003,50

Enllumenat		Navegació dia		Maniobra		Càrrega / Descàrrega		Repòs		Navegació nit	
Descripció de l'element	Total	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW
Espais públics	92,00	1,0	92,00	1,0	92,00	1,0	92,00	0,3	27,60	0,3	27,6
Cuines	11,00	1,0	11,00	1,0	11,00	1,0	11,00	0,1	1,10	0,3	3,3
Allotjaments y passadissos	36,00	0,8	28,80	0,8	28,80	0,8	28,80	0,1	3,60	0,4	14,4
Garatges i bodegues	65,00	0,3	19,50	0,5	32,50	1,0	65,00	0,1	6,50	0,3	19,5
Sala de màquines i Pont	170,00	1,0	170,00	1,0	170,00	1,0	170,00	0,8	136,00	0,7	119
Tallers, oficines	75,00	1,0	75,00	1,0	75,00	1,0	75,00	0,8	60,00	0,3	22,5
Enllumenat exterior	15,00	1,0	15,00	1,0	15,00	1,0	15,00	0,4	6,00	1	15
Enllumenat d'emergència	90,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0	0
Llums de navegació	1,00	1,0	1,00	1,0	1,00	0,3	0,30	0,0	0,00	1	1
Càrrega bateries	15,00	0,2	3,00	0,1	1,50	0,1	1,50	0,1	1,50	0,2	3
<b>Total</b>	570,00		415,30		426,80		458,60		242,30		225,3

Equips Auxiliars de Màquines					Navegació dia		Maniobra		Càrrega / Descàrrega		Repòs		Navegació nit	
Descripció de l'element	Nº unitats	Pot. Unit	Kn	Total	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW
Bombes d'oli	9	20,0	0,667	180,00	0,8	96,00	0,6	72,00	0,1	12,00	0,1	12,00	0,8	96,00
Purificadores oli	3	7,0	0,667	21,00	0,8	12,60	0,6	8,40	0,1	1,40	0,1	1,40	0,8	11,20
Bombes combustible	4	3,0	0,750	12,00	0,8	7,20	0,6	5,40	0,1	0,90	0,1	0,90	0,8	7,20
Separadores F/O	4	7,0	0,750	28,00	0,8	14,93	0,6	12,60	0,1	2,10	0,1	2,10	0,8	16,80
Bombes A/S	3	45,0	0,667	135,00	0,8	81,00	0,8	72,00	0,2	18,00	0,2	18,00	0,8	72,00
Bombes A/D	4	15,0	0,750	60,00	0,8	24,00	0,8	36,00	0,2	9,00	0,2	9,00	0,8	36,00
Compressors A/A	2	32,0	0,500	64,00	0,1	3,20	0,1	3,20	0,0	0,00	0,0	0,00	0,1	3,20
Virador	4	6,0	0,500	24,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
<b>Total</b>				524,00		238,93		209,60		43,40		43,40		242,40

### Anexe 11.1.1

Serveis no continus					Navegació dia		Maniobra		Càrrega / Descàrrega		Repòs		Navegació nit	
Descripció de l'element	Nº unitats	Pot. Unit	Kn	Total	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW
Bomba d'aigües grises	6	0,5	0,500	3,00	0,3	0,45	0,1	0,15	0,3	0,45	0,1	0,15	0,3	0,45
Depuradora d'aigües negres	2	8,0	0,500	16,00	0,3	2,40	0,1	0,80	0,3	2,40	0,1	0,80	0,3	2,40
Bomba de llast i sentines	6	25,0	0,800	150,00	0,4	48,00	0,4	48,00	0,9	108,00	0,1	12,00	0,4	48,00
Bomba de buidatge i CI	4	25,0	0,667	100,00	0,3	20,00	0,1	6,67	0,1	6,67	0,1	6,67	0,3	20,00
Bombes de ruixadors CI	4	24,0	0,500	96,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Compressor grup emergència	1	0,2	1,000	0,20	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Bomba de transvasament F/O	4	6,5	0,667	26,00	0,6	10,40	0,6	10,40	0,6	10,40	0,1	1,73	0,6	10,40
Bomba de servei diari F/O	4	6,5	0,500	26,00	0,6	7,80	0,6	7,80	0,6	7,80	0,1	1,30	0,6	7,80
<b>Total</b>				417,20		89,050		73,817		135,717		22,650		89,050

Serveis continus					Navegació dia		Maniobra		Càrrega / Descàrrega		Repòs		Navegació nit	
Descripció de l'element	Nº unitats	Pot. Unit	Kn	Total	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW	Ksr	kW
Bomba A/D sanitària	2	12,0	0,500	24,00	0,7	8,40	0,6	7,20	0,6	7,20	0,1	1,20	0,4	4,80
Bomba A/D sanitària calenta	2	5,0	0,500	10,00	0,7	3,50	0,6	3,00	0,6	3,00	0,1	0,50	0,4	2,00
Bomba aigua tanc compensació	2	3,0	0,500	6,00	0,7	2,10	0,6	1,80	0,6	1,80	0,1	0,30	0,4	1,20
Bomba aigua potable calenta	2	1,5	0,500	3,00	0,7	1,05	0,6	0,90	0,6	0,90	0,1	0,15	0,4	0,60
Bomba de aigua potable freda	2	1,5	0,500	3,00	0,7	1,05	0,6	0,90	0,6	0,90	0,1	0,15	0,4	0,60
Bomba de servei piscina	2	4,5	0,500	9,00	0,5	2,25	0,5	2,25	0,3	1,35	0,1	0,45	0,2	0,90
<b>Total</b>				55,00		18,35		16,05		15,15		2,75		10,10

### TABLA CONJUNTA

Consumidors	Potència total	Navegació dia	Maniobra	Càrrega / Descàrrega	Repòs	Navegació nit
Maniobra	2.702,50	465,20	1.982,84	0,00	0,00	465,20
Cuines, salons, bugaderia	1.759,00	1.566,05	1.399,15	1.397,65	1.337,45	1.343,65
Equips de navegació	18,50	9,35	11,20	7,60	1,00	8,15
Ventilació i Aire Condicionat	3.645,00	2.559,00	2.019,00	3.098,00	710,00	2.516,00
Tallers, ascensors i portes	1.349,80	1.056,50	1.052,00	1.068,26	26,50	1.003,50
Enllumenat	570,00	415,30	426,80	458,60	242,30	225,30
Equips Auxiliars de Màquines	524,00	238,93	209,60	43,40	43,40	242,40
Serveis no continus	417,20	89,050	73,817	135,72	22,650	89,050
Serveis continus	55,00	18,35	16,05	15,15	2,75	10,10
<b>Total</b>	<b>11.041,00</b>	<b>6.417,733</b>	<b>7.190,457</b>	<b>6.224,38</b>	<b>2.386,05</b>	<b>5.903,35</b>



### 11.1.2 Balanç Pesos Sistema Convencional

Ventilació i A/C				Serveis no continus			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)	Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Compressors A/C	3	0,50	1,50	Bomba d'aigües grises	6	0,20	1,20
Equips auxiliars A/C	3	0,40	1,20	Depuradora aigües negres	2	0,70	1,40
Ventilació CM	4	0,05	0,20	Bomba llast i sentines	6	0,50	3,00
Ventilació Càrrega	15	0,05	0,75	Bomba de buidatge i CI	4	0,40	1,60
Ventilació persones	18	0,05	0,90	Bombes de ruixadors CI	4	0,40	1,60
Ventilació maquinària	12	0,05	0,60	Compressor d'emerg.	1	0,20	0,20
<b>Total</b>			<b>5,15</b>	Bomba de transv. F/O	4	0,30	1,20
				Bomba de SD F/O	4	0,30	1,20
				<b>Total</b>			<b>11,40</b>
Tallers i equips				Serveis continus			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total(T)	Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Ascensors i muntacàr.	4	2,00	8,00	Bomba A/D sanitària i	2	0,30	0,60
Equips del taller	4	1,00	4,00	Bomba A/D sanitària calenta	2	0,30	0,60
Polispasts MMPP	4	0,90	3,60	Bomba aigua tanc hidròfor	2	0,25	0,50
Altres elements	1	2,00	2,00	Bomba aigua potable calenta	2	0,30	0,60
<b>Total</b>			<b>17,60</b>	Bomba d'aigua potable	2	0,30	0,60
				Bomba de la piscina	2	0,15	0,30
				<b>Total</b>			<b>3,20</b>
Equips Auxiliars Màquines				Sistema Generació elèctrica			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)	Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Bombes d'oli	9	0,30	2,70	Generador Wärtsilä 12V46F	3	61,50	184,50
Purificadores d'oli	3	1,00	3,00	Generador d'emergència	1	3,27	3,27
Bombes combustible	4	0,30	1,20	<b>Total</b>			<b>187,77</b>
Separadores F/O	4	2,00	8,00				
Bombes A/S	3	0,30	0,90				
Bombes A/D	4	0,30	1,20				
Compressors A/A	2	0,30	0,60				
Virador	4	0,25	1,00				
<b>Total</b>			<b>18,60</b>				
Sistema propulsiu				TABLA CONJUNTA			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)	Elements	Pes Total (T)		
Motor Wärtsilä 12V46F	2	201,10	402,20	Ventilació i Aire Condicionat	5,15		
Reductora	2	40,00	80,00	Tallers, ascensors y portes	17,60		
Eix	2	33,15	66,30	Equips Auxiliars de Màquines	18,60		
<b>Total</b>			<b>548,50</b>	Serveis no continus	11,40		
				Serveis continus	3,20		
				Sistema generació elèctrica	187,77		
				Sistema Propulsiu	548,50		
				Volum dels tancs	1.648,01		
				<b>Total</b>	<b>2.440,23</b>		

### 11.1.3. Balanç Pesos Sistema Elèctric

Ventilació i A/C			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Compressors A/C	3	0,50	1,50
Equips auxiliars A/C	3	0,40	1,20
Ventilació CM	4	0,05	0,20
Ventilació Càrrega	15	0,05	0,75
Ventilació personal	18	0,05	0,90
Ventilació maquinària	12	0,05	0,60
<b>Total</b>			<b>5,15</b>
Tallers i equips			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Ascensors y muntacàrr.	4	2,00	8,00
Equips del taller	4	1,00	4,00
Polispasts MMPP	4	0,90	3,60
Altres elements	1	2,00	2,00
<b>Total</b>			<b>17,60</b>
Equips Auxiliars Màquines			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Bombes d'oli	9	0,30	2,70
Purificadores d'oli	3	1,00	3,00
Bombes combustible	4	0,30	1,20
Separadores F/O	4	2,00	8,00
Bombes A/S	3	0,30	0,90
Bombes A/D	4	0,30	1,20
Compressors A/A	2	0,30	0,60
Virador	4	0,25	1,00
<b>Total</b>			<b>18,60</b>
Propulsió Elèctrica			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Azipods	2	140,00	280,00
Mòdul de gir	2	65,00	130,00
SRU + SD	2	5,44	10,88
Unitat Refrigeració	2	8,00	16,00
<b>Total</b>			<b>436,88</b>

Serveis no continus			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Bomba d'aigües grises	6	0,20	1,20
Depuradora d'aigües negres	2	0,70	1,40
Bomba de llast i sentines	6	0,50	3,00
Bomba de buidatge y CI	4	0,40	1,60
Bombes de ruixadors CI	4	0,40	1,60
Compressor d'emergència	1	0,20	0,20
Bomba de transvas. F/O	4	0,30	1,20
Bomba de servei diari F/O	4	0,30	1,20
<b>Total</b>			<b>11,40</b>
Serveis continus			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Bomba A/D sanitària	2	0,30	0,60
Bomba A/D sanitària calenta	2	0,30	0,60
Bomba aigua tanc hidròfor	2	0,25	0,50
Bomba aigua potable calenta	2	0,30	0,60
Bomba d'aigua potable freda	2	0,30	0,60
Bomba de la piscina	2	0,15	0,30
<b>Total</b>			<b>3,20</b>
Motors Dièsel - Generadors			
Descripció de l'element	Nº	Pes unitari (T)	Total (T)
Motors Principals	5	126,0	630,00
Generador d'emergència	1	3,32	3,32
<b>Total</b>			<b>633,32</b>

TABLA CONJUNTA	
Elements	Pes Total (T)
Ventilació i Aire Condicionat	5,15
Tallers, ascensors y portes	17,60
Equips Auxiliars de Màquines	18,60
Serveis no continus	11,40
Serveis continus	3,20
Motors Dièsel - Generadors	633.32
Propulsió Elèctrica	436,88
Volum dels tancs	1.531,51
<b>Total</b>	<b>2.657,46</b>

## Annex 2

### 11.2.1 Informació general dels motors

a) Volvo PENTA D13 (FE) MG / HMC534D-1 (50Hz) (de la web de Volvo Penta)

Marine Genset range						
The Volvo Penta genset systems are reliable marine diesels, well-matched generators and a monitoring system. The key component is the smooth-running and reliable Volvo Penta marine diesel engine.				HE = For connection to central cooling or raw water cooling system KC = For connection to external cooler eg. box cooler RC = Radiator cooled with engine driven fan for emergency, harbour and auxiliary use		
Engines	HE 400V / 50Hz	HE 440V / 60Hz	KC 400V / 50Hz	KC 440V / 60Hz	RC 400V / 50Hz	RC 440V / 60Hz
<a href="#">D13 MG</a>	248 - 332 kWe	300 - 380 kWe	248 - 332 kWe	300 - 380 kWe	248 - 332 kWe	300 - 360 kWe
<a href="#">D16 MG</a>	332 - 420 kWe	390 - 477 kWe	332 - 420 kWe	390 - 477 kWe	332 - 414 kWe	390 - 448 kWe

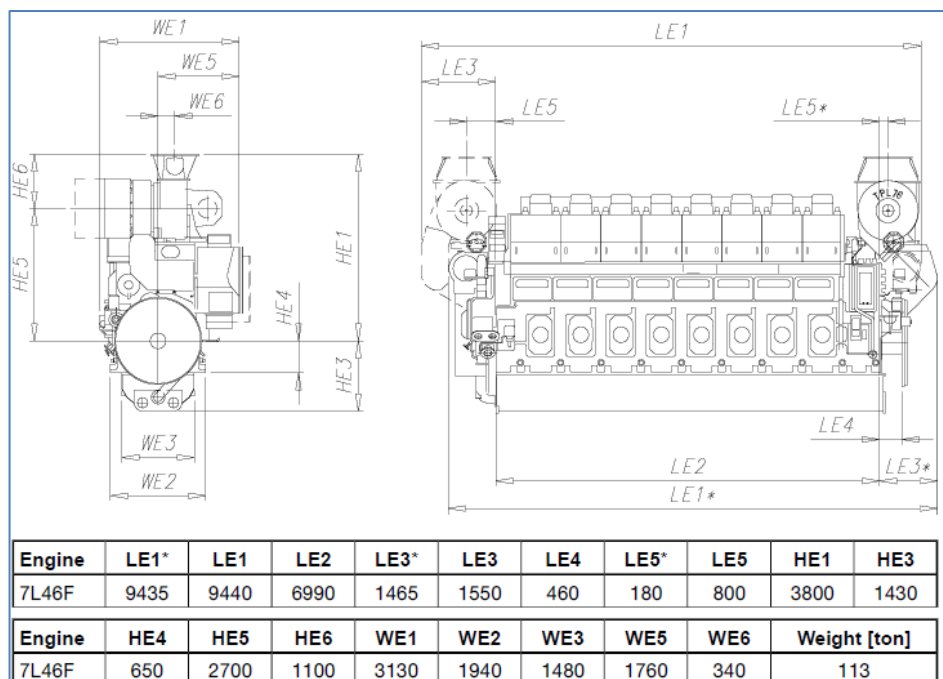
b) Wärtsilä 12V46F (de la web de Wärtsilä)

Cylinder output	kW	1200	1200
Engine speed	rpm	600	600
Engine output	kW	14400	14400
Mean effective pressure	MPa	2.49	2.49
<b>Fuel system (Note 4)</b>			
Fuel consumption at 100% load	g/kWh	178	178
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	172	174
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	178	182
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	179	188

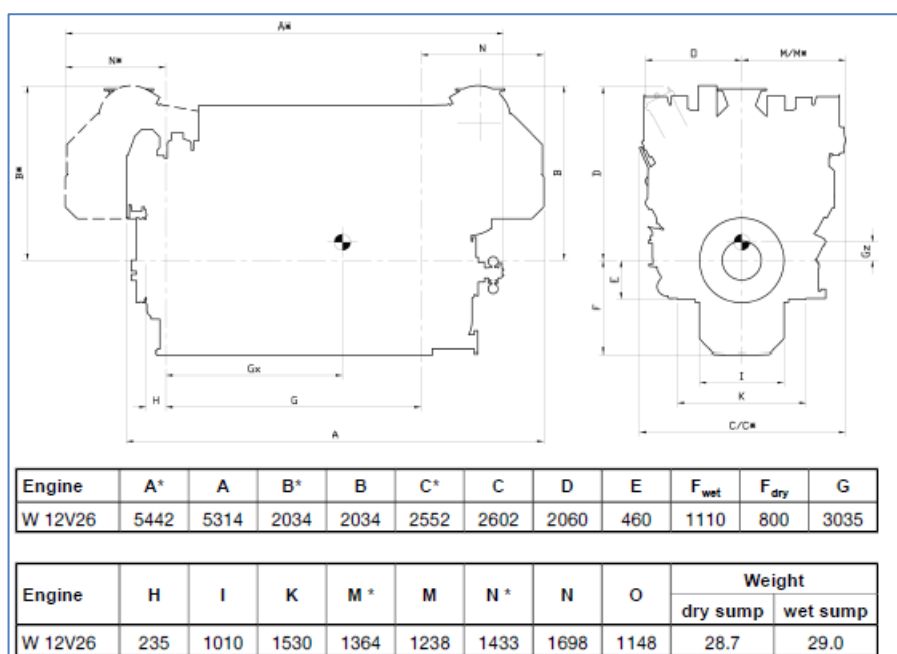
Engine	LE1*	LE1	LE2	LE3*	LE3	LE4	LE5*	LE5	HE1	HE3
12V46F	10945	10284	7600	1830	1952	460	520	774	3765* / 3770	1620
Engine	HE4	HE5	HE6	WE1	WE2	WE3	WE5	WE6	Weight [ton]	
12V46F	800	2975* / 2980	790	4040* / 4026	2290	1820	2825* / 3150	760	177	

c) Wärtsilä 7V46F (de la web de Wärtsilä)

Cylinder output	kW	1200	1200
Engine speed	rpm	600	600
Engine output	kW	8400	8400
Mean effective pressure	MPa	2.49	2.49
<b>Fuel system (Note 4)</b>			
Fuel consumption at 100% load	g/kWh	179	179
Fuel consumption at 85% load	g/kWh	173	175
Fuel consumption at 75% load	g/kWh	178	183
Fuel consumption at 50% load	g/kWh	180	189



d) Wärtsilä 12V26 (de la web de Wärtsilä)



### 11.2.2 Captures de pantalla finals

Dimensions: eslora 180 m, Mànega 27 m, Calat 6,63 m, Puntal màxim 32,69 m i desplaçament 17.010,2 m<sup>3</sup>.

